# 建築工事における作業の推定方法に関する研究

Methods of Presumption for Building Works in Construction Sites

2003 年 3 月

蔡　　成 浩

# 建築工事における作業の推定方法に関する研究

Methods of Presumption for Building Works in Construction Sites

2003 年 3 月

早稲田大学大学院理工学研究科
建設工学専攻　建築材料及び施工研究

蔡　　成 浩

# 目次

# 題名：建築工事における作業の推定方法に関する研究

## 目次

**第 1 章　序論**

1.1.建築工事における作業の推定をめぐる諸問題 …… 1

1.2.本研究に関する既往の研究 …… 2

1.3.本研究の目的と項目 …… 7

参照文献 …… 10

**第 2 章　作業方法の選定方法に関する研究**

2.1.作業プロセスの作成を用いた作業のモデル化

2.1.1.作業プロセスにおける作業方法 …… 15

2.1.2.作業のモデルの作成方法 …… 15

2.1.3.鋼製壁下地取付け作業における適用 …… 19

2.1.4.結 …… 28

2.2.機能抽出と機能展開を用いた作業方法の発想

2.2.1.作業プロセスにおける機能抽出と機能展開 …… 30

2.2.2.機能抽出と機能展開の方法 …… 30

2.2.3.鋼製壁下地取付け作業における適用 …… 37

2.2.4.結 …… 41

2.3.一対比較を用いた作業方法の選択

2.3.1.作業プロセスにおける一対比較 …… 43

2.3.2.AHP 手法を用いた一対比較の方法 …… 43

2.3.3.鋼製壁下地取付け作業における適用 …… 45

2.3.4.結 …… 55

2.4.結言 …… 57

**第 3 章　作業時間の推定方法に関する研究**

3.1.作業の実績に基づいた作業時間の推定

3.1.1.実績と作業時間の関係 …… 60

3.1.2.特性値の算出を用いた作業時間の推定 …… 61

3.1.3.鋼製壁下地取付け作業における適用 …… 62

3.1.4.結 …… 73

3.2.作業者の動作に基づいた作業時間の推定
3.2.1.動作と作業時間の関係 74
3.2.2.MOST 手法を用いた作業時間の推定方法 74
3.2.3.木製壁下地取付け作業における適用 80
3.2.4.結 94
3.3.作業の条件に基づいた作業時間の推定
3.3.1.条件と作業時間の関係 95
3.3.2.数量的・質的条件に基づいた作業時間の推定方法 95
3.3.3.石膏壁ボード張り鋼製壁下地取付け作業における適用 99
3.3.4.結 127
3.4.結言 129

**第 4 章　作業内容の推定方法に関する研究**

4.1.作業者の姿勢の特性値
4.1.1.姿勢の測定方法 132
4.1.2.姿勢の特性値の算出方法 136
4.1.3.基本的な作業者の姿勢における適用 141
4.1.4.結 150
4.2.作業者の姿勢の特性値に基づいた作業内容の推定方法
4.2.1.推定区間の多段階の設定方法 152
4.2.2.ニューラルネットワーク手法を用いた推定方法 153
4.2.3.基本的な単位動作における適用 156
4.2.4.結 163
4.3.パネル取付け作業における適用
4.3.1.作業実験の概要 164
4.3.2.姿勢の測定と特性値の算出 167
4.3.3.ニューラルネットワークの学習と作業内容の推定結果 169
4.3.4.結 176
4.4.結言 178

**第 5 章　結論**

A.作業方法の選定方法に関する研究について 180
B.作業時間の推定方法に関する研究について 181
C.作業内容の推定方法に関する研究について 182

# 第1章　序論

# 第 1 章　序論

## 1.1.建築工事における作業の推定をめぐる諸問題

今日建築工事において、作業の省力化のための自動測定装置・電動工具・部材搬入装置などの投入、品質の安定化のため鋼製下地材・パネル仕上げ材などの工業部材・部品の開発、作業者の安全化のための安全帯・安全帽などの安全装備の強化や高所作業車・安全仮設などの安全装置の投入などが進んでいる。また、生産性の向上、省力化などが強く要求されており、建築工事現場における作業の計画は益々複雑なものになっている。しかし、作業に関する計画は従来から専門工事業者に依存する面が多く、経験的な作業の分析や、手順の計画に留まっている。作業の実績を体系的に収集し、それを比較・評価するための方法は十分に確立されておらず、測定者が目視で作業内容を記録する手段に頼っている。また、実測した作業結果の作業計画への適用も限られた範囲に留まっている。このため、現場作業がその作業条件に適した作業方法とならず、生産性の低下や作業工期の遅延を生じる原因となっている。

作業方法の選定については、VE 手法やワークデザイン手法などの発想法を導入した方法があり、過去の作業実績を参考にするエキスパートシステムや経験的推定方法などが提案されている。しかし、そのような方法は発想手順において多くの情報を必要とし、経験者の能力に頼る部分が多く、的確に代替案を比較して評価するための項目がないといった問題点がある。そのため、多くの現場作業の計画は工程の順序や目標時間に関して行われ、作業方法の選択は専門工事業者の経験に頼っている。この結果、作業の基本要素である各単位作業における生産性の向上は期待されないのが現状である。

作業内容の計測については、作業研究において多くの研究がなされ、作業の所要時間、手待ち時間、稼働率、主作業率などの分析手法が編み出されている。しかし、作業現場において、作業者がどのような作業内容を実施しているかについては、測定者が目視で記録するしか方法がない。そのため、作業実績は単位施工量当りの作業者数の指標である工事別の歩掛りで表現される場合が多く、十分にそれを実績値として作業計画に活用しているとは言い難い。この結果、作業の計画者が積極的に新たな作業方法を提案し、実行した作業をモニタリングして結果の検討を行うことは限られているのが現状である。

以上に述べた如く、作業計画を行う上で、必要となる作業情報に基づいて作業方法の選定し、作業時間の推定を行うための方法は十分確立されておらず、作業現場から作業の実績情報を収集するためには多くの時間を必要とするため、従来の作業の推定は生産性向上・工事資源節減などの要求に対しての課題を残している。

### 1.2.本研究に関する既往の研究

#### 1.2.1.建築工事における作業方法の選定方法に関する研究

**A.作業のモデル化に関する研究**

作業のモデル化は、工程の計画の研究として、田村他は[1]、建築物の仕様情報の情報構造をグラフ構造で表現する方法を提案し、図面からの情報化されたデータを示している。江口他は[2]、型枠工事の工程計画を単位作業のレベルで行う場合の工程計画表や工程モデルについての考察と提案を行っている。嘉納は[3]、作業工程計画における作業活動を表現する方法として、グラフ構造による表現法の提案を行い、各作業における要素の関係の視覚的モデル化を行っている。鈴木は[4]、工事計画を確定するための制約条件と情報の関係を明らかにし、選定における意思決定の順位を示している。大沢は[5]、施工プロセスチャート手法を提案し、工事条件に適応した工程計画の効率化の検討を行っている。三根他は[6]、集合住宅の内装工事を対象に工程分析の適用と分析方法の提案を行っている。筆者らは[7][8]、作業の方法や手段の選択プロセスを明らかにし、その作業プロセスのモデル化を提案した。

**B.作業方法の発想に関する研究**

作業方法の発想は、VE 手法を用いた研究として、小林他は[9]、VE 手法における機能分析を用いて作業における問題を解決するための方法の検討を行っている。馬場他は[10]、反転機能系統図方法を応用した工事ソフト VE を提案し、施工法や作業の改善に対する適用を行っている。岩崎は[11]、建築生産における VE の導入と適用について述べている。

また、論理的な解決を用いた研究として、蟹澤他は[12]、述語論理を用いて工法決定の過程の分析を行い、そのシステムの構築の考え方を提案している。佐藤他は[13]、聞き取り調査を行い公共建築における構工法の発想において必要とする項目の決定方法を提案している。嘉納他は[14]、建築の工事計画の作成において、新しい工程計画案の作成や工法案を提案する計画立案の方法論を提案している。

**C.作業方法の選択に関する研究**

作業方法の選択は、作業実績を用いた比較評価の研究として、田村他は[15]、工事計画において工法の選択のためのモデルを作成し、地下工事の工法選択に適用を行っている。山崎他は[16]、施工実績に基づく工法選択システムを提案し、床工法の選択における適用を行っている。室他は[17]、鉄筋工事における在来工法と開発したユニット工法及び自動クレーン工法の比較を工期と工数を用いて行っている。王他は[18]、間仕切り壁の建具枠の取付け

と下地の取付け方法の作業実績を用いて作業工数の比較を行っている。嘉納他は[19]、山留壁の工法の選定における比較推定モデルを判別分析、ニューラルネットワーク、経験推定を用いて作成し、その精度を比較している。

また、評価項目を用いた比較評価の研究として、野崎は[20]、コンクリートの品質に関する重要管理項目の重要度の評価を行い、開発が要求される技術の提案を行っている。椎野他は[21]、共同住宅における機能分類を行い、一対比較による AHP 手法を用いた各機能の重要度の評価を行っている。田中他は[22]、躯体工法の構工法を対象に制約条件による評価項目を設定し、構造設計選択フローを用いた選択の方法を提案している。吉田他は[23]、建築工事における合理化工法と在来工法を部位別に評価するための階層構造を作成し、AHP 手法を用いた評価を行っている。筆者らは[7]、作業方法の選択における階層構造を提案し、AHP 手法を用いた評価を行った。

### 1.2.2.建築工事における作業時間の推定方法に関する研究

#### A.作業の実績に関する研究

作業の実績に基づいた作業時間の研究は、測定した実績データから歩掛りを算出する研究として、渡辺は[24]、鉄筋作業における実態調査に必要な項目を取り上げ、作業時間を測定して各作業における稼動時間と稼働率を明らかにしている。室は[25]、作業工数の算定に用いる標準歩掛りを定義し、その設定方法を提案している。柳田他は[26]、RC 造共同住宅の躯体工事における現場労務量の調査を行い、要素作業のレベルでの作業時間の集計を行っている。佐々木他は[27]、RC 造建築工事に対する作業測定を行い、作業職種別の稼働率と作業部位別の歩掛りの算出を行っている。湯谷他は[28]、作業日報の実績データに基づいた作業工数、及び習熟特性の算出を行っている。三根は[29]、鉄筋コンクリート工事の作業管理における労務実績を用いた工数の算定方法を提案している。三島他は[30]、中小オフィスビルにおける構造別、工事別、職種別、工程単位別の歩掛りを算出し、その比較を行っている。三輪他は[31]、PCa 工事の歩掛りの測定結果を用いて各作業の効率の比較分析を行っている。

#### B.作業者の動作に関する研究

作業者の動作に基づいた作業時間の研究は、田村他は[32]、建築作業における動作分析のサーブリッグ記号を提案し、それを用いて左官工の塗り作業の動作研究を行い、その結果を示している。真上他は[33]、作業動作の既定時間設定方法である簡易 MTM 法を用いて、枠組壁工法住宅における床取付け作業の作業時間の推定を行っている。江口他は[34]、

MOST 法を用いた建築作業の標準時間の設定方法を提案し、PCa 工事と鉄筋工事に対してその適用性の検討を行っている。吉村他は[35]、MOST 法を用いたプラント建設における配管据付を行う作業者の作業時間の推定を行っている。吉田他は[36]、MOST 法を用いた PCa 柱部材の製作における鉄筋組立の作業時間の推定を行っている。筆者らは[37][38][39]、MOST 法を用いた要素作業レベルでの作業時間の推定方法を提案し、木造壁軸組取付け作業における適用と検証を行った。

**C.作業の条件に関する研究**

作業の条件に基づいた作業時間の研究は、重回帰分析を用いた推定式の作成として、若山他は[40]、PCa 部材の形態と実測時間を用いて作業時間の推定式を作成し、その結果を示している。脇坂他は[41]、鉄骨建方における部材の特性と実測作業時間を用いて作業時間の推定式を作成し、その結果を示している。中島他は[42]、木造住宅の各部材における作業量と実測作業時間を用いて作業時間の推定式を作成し、その結果を示している。石堂他は[43]、集合住宅における延べ床面積と実績労務量を用いて職種別の作業者数の推定式を作成し、その結果を示している。小早川は[44]、架構式プレキャスト鉄筋コンクリート工事の部材個数・数量・鉄筋量を用いて労務量の推定式を作成し、その結果を示している。筆者らは[45][46][47]、作業条件と実測作業時間を用いた推定式の作成方法を提案し、鋼製間仕切り壁と石膏ボード取付け作業を対象にその適用の有効性の検証を行った。

### 1.2.3.建築工事における作業内容の推定方法に関する研究

**A.作業現場におけるデータの収集に関する研究**

作業現場におけるデータの収集に関する研究は、各種センサーを用いてデータを自動収集する方法と必要なデータを人間が記録装置に直接記入する方法がある。センサーを用いてデータを自動収集して分析する方法は、センサーの種類によって、小林他は[48]、作業者の生体現象である、心拍数、筋電位、電気反射を測定し、測定データと基本動作の関係を明らかにしている。所他は[49]、IC カードを用いた建築車両の稼動状況の収集と分析方法を提案し、収集したデータを用いた作業内容の判定を行っている。高田他は[50]、鉛直レーザ発振器を用いた鉄骨柱の位置決め装置を開発し、その現場投入方法を提案している。大津他は[51]、DGPS を用いた現場内の移動体の位置計測システムを開発し、移動式クレーンの衝突監視に対する適用を行っている。筆者らは[52]、6 自由度センサーを用いた作業者の姿勢データの収集装置を作成し、作業実験による有効性の検証を行った。

人間が記録装置に直接記入して分析する方法は、松岡他は[53]、電子手帳を用いた仕上げ

進捗管理と仕上げ検査システムの開発を行い、その内容の説明を行っている。朋田他は[54]、仕上げ工事の検査管理のためのペン入力コンピュータを用いた記入システムを開発し、その効果を明らかにしている。脇坂他は[55]、携帯端末を用いた稼動分析とワークサンプリングのための入力システムを開発し、測定した結果の分析を行っている。

**B.収集データの分析に関する研究**

収集した実績データを分析し、作業管理に活用するための研究は、三根は[56]、建築工事の管理おけるリアルタイムモニタリングの必要性を述べ、その関連技術について分析を行っている。池田他は[57]、現場でのハンディターミナルを用いた作業測定システムを開発し、データの運用についての提案を行っている。古市他は[58]、高速リフトにおける運送状態のデータを収集するためのシステムを提案し、収集したデータを用いた稼働率の分析を行っている。磯野他は[59]、社内 LAN とタイムラップビデオシステムを用いた作業時間測定システムを提案し、測定の目的に対する評価を行っている。筆者らは[60]、ニューラルネットワークを用いた作業姿勢データから単位動作を推定するためのアルゴリズムを開発し、その有効性の検証を行った。

### 1.2.4.既往の研究における問題点

**A.建築工事における作業方法の選定方法に関する研究**

作業のモデル化に関しては、従来から工程の時系列な管理を目的とする様々な手法の研究が行われ、多くの成果が得られている。しかしながら、これらの研究は、作業の条件が変化した場合、作業方法の選択や順序などの作業計画において検討すべき事項やその進め方の手順については不明な点が多く、作業方法を選定するための作業レベルで分析が行われた研究は見当たらず、未解決の問題が多い。

作業方法の発想に関しては、作業における造り方の原理・原則に立ち戻って方法を検討する VE 手法などを用いた研究と過去の資料や実績を用いた研究があり、その成果を得ている。しかしながら、これらの研究は、実績データの収集や手順が複雑であり、最終的な判断は個人やグループの能力に依存している点が多く、実務的な手法には至っていない。

作業方法の選択に関しては、過去の作業の実績と条件に基づいて最適な工法を選択する研究がある。また、単純に数量的な実績データを用いて判断する以外に、意思決定に考慮すべき評価項目を用いた選定方法に関する研究があり、その成果を得ている。しかしながら、これらの研究は、作業方法を評価するために用いる目的、評価項目、代替案の決定方法とその関係を示す構造の設定方法は不明な点が多い。

**B.建築工事における作業時間の推定方法に関する研究**

作業の実績に関しては、作業の実態調査に基づいて測定した作業時間と施工量による工数と歩掛りの算出は、作業研究の手法とともに多くの研究が行われ成果を得ている。しかしながら、作業計画に実績データを用いるためには、単位作業レベルの正確なデータの分類が必要となるが、労務量及び工事量の推定を目的として行われた従来の研究は、単に各まとまり作業の工数を集計して歩掛りなどを求める程度であり、詳細なレベルの実績についてはほとんど明らかにされてない。

作業者の動作に関しては、サーブリッグを用いた左官工の動作分析などがあるが、既存の動作分析の方法は工場生産などサイクルタイムが短い作業のために開発された手法であるため、建築作業においての適用事例は少ない。作業者の動作と作業時間の関係に関する研究は、比較的簡単に作業時間を設定できる既定作業時間設定方法である簡易 MTM 手法や MOST 手法を用いた研究行われ、建築作業における有効性を確認している。しかしながら、これらの研究は、不規則な作業が多い単位作業レベルでの分析は行っておらず、推定作業時間値と実測作業時間値との誤差の発生要因についても解明されていない。

作業の条件に関しては、作業の実績を報告するための研究が中心であり、作業時間の推定に適用するための作業の条件と作業時間の関係に関しては不明な点が多く、適切な作業研究の手順・方法に基づいて行われた調査はほとんど無い。

**C.建築工事における作業内容の推定方法に関する研究**

作業の実績データの収集に関しては、作業現場において実施した作業の内容をモニタリングし、管理を行うための情報収集の方法に関する研究は、医療用測定センサーを用いた作業者の生体情報の収集、IC カードまたはバーコードを用いた作業者と部材の登録情報の収集、レーザまたは超音波を用いた作業精度の情報の収集、GPS 装置または赤外線装置を用いた位置情報の収集及び、携帯端末と通信機器を用いた作業進捗情報の収集などが行われている。そのような方法は使用機器の技術的進歩を背景に実用化が進んでいる。しかしながら、これらの研究は、情報を収集する機器の使用に作業者または測定者のシステムに対する仕組みの理解と操作するための時間を必要とし、情報入力の負担を無くすための方法の開発までは至っていない。

収集データの分析に関しては、収集した作業情報のデータを用いた、「作業者の動作」、「作業時間」、「作業環境」などを明らかにする方法論や手法はほぼ確立しているものの、作業者が如何なる作業を実施しているかについては、現在まで目視による観測に依存しており、作業内容をデータから推定する研究は試されていない。

### 1.3.本研究の目的と項目

#### 1.3.1.本研究の目的と範囲

建築工事の作業計画には、多くの研究で指摘される様に、作業の方法や順序をはじめ、その能率を部位別、工具別、部材別に詳細に検討しなければならない。さらに、作業者が行うべき作業を具体的且つ、総合的に計画する必要がある。即ち、作業計画は、単なる作業間の実施手順やその所要日数・実施時期の管理に留まるものではなく、作業条件に適合した作業方法の設定が要求される。

しかしながら、従来の作業計画は十分にその機能を発揮しているとは言い難い。その原因の１つとして、作業を実行する方法は専門工事業者や製造業者の役割として任せていることが多く、作業方法を考慮した計画の体系が確立されていない点が挙げられる。また、計画に要する作業の詳細な実績データは基礎資料として十分に蓄積しておらず、これらのデータを収集するためには多大な努力が必要である。

作業計画を適正化して生産性の向上を図るためには、作業における諸条件や環境について詳細な調査を行って最適な作業方法を選択するとともに、これに基づいて実行する作業の綿密な計測を行い、計画の確認や修正を行う必要がある。

このためには、以下の 3 つの課題について研究を行う必要がある。

① 作業に最適な作業方法を選択するための、選定方法の開発

② 作業の作業時間を把握するための、推定方法の開発

③ 作業の実績データを収集するための、推定方法の開発

本研究では、作業計画における、作業のモデル化による作業方法の発想と選定のための方法の提案、「作業時間の実績値」「作業者の動作」「作業の条件」に基づいた作業時間の推定のための方法の提案、作業の内容の自動計測と推定のための方法の提案を目的とする。

そのため、作業のモデル化に必要とする作業の要素とその関係を定義し、作業を「機能」として捉えて新たな作業方法を発想する手順を確立し、発想した代替案の選定に用いる評価項目と比較過程を体系化する。次に、実測作業時間の特性値、作業者の動作、作業の条件と作業時間の関係を確認し、作業時間の推定式の作成方法を確立する。さらに、作業を行っている作業者の姿勢と作業の関係を明確にし、姿勢のデータを用いた作業内容の自動計測方法と推定方法を確立する。

最後に、提案した各方法を具体的に内装下地工事に適用し、作業計画において本方法論が有効であることを検証する。なお、研究に当っては、建築工事における内装工事の下地取付け作業を対象とし、各まとまり作業における単位作業の作業方法と作業時間の研究を範囲としている。

### 1.3.2.本研究の項目

#### A.作業方法の選定方法に関する研究

作業プロセスにおける作業のモデル化として、作業プロセスを構成する作業の要素の定義を行う。定義した各要素を用いて作業における作業条件、作業方法、作業結果の関係を明らかにすることによるモデル化の方法の提案する。そして、鋼製壁下地取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。

機能抽出と機能展開を用いた作業方法の発想として、作業を「機能」という側面から捉えて、それが果たすべき目的を明確化する。明確にした「機能」を VE 手法[62]、ワークデザイン手法[63]といった発想法における「機能展開」を用いてさらに抽象化することによって作業の新たな作業方法の代替案を発想する方法の提案する。そして、鋼製壁下地取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。

一対比較を用いた作業方法の選択として、以上の作業方法の発想によって提案する複数の代替案から作業条件に最適である作業方法を選択するための評価項目の階層構造を作成する。また、代替案に対する一対比較法である AHP 手法[64]を用いた選択方法を提案する。そして、鋼製壁下地取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。

#### B.作業時間の推定方法に関する研究

作業時間の実績を用いた作業時間の推定として、作業時間の推定に必要な特性値を定義し、測定した作業時間と施工量のデータを用いた特性値の算出方法を提案する。そして、鋼製壁下地取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。

作業者の動作に基づいた作業時間の推定として、PTS 方法[65]の一つである MOST 手法[66]における作業動作の時間設定方法を用いて要素作業の作業時間の推定式を作成し、推定式を用いた単位作業の時間の推定方法を提案する。そして、木製壁下地取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。

作業の条件に基づいた作業時間の推定として、作業の条件をその内容によって「数量的条件」と「質的条件」に分類し、作業時間と条件の関係から作業時間の推定式を作成する。数量的条件に対しては、重回帰分析[67]を用いて作業時間の推定式を作成し、単位作業の時間を推定するための方法を提案する。そして、壁石膏ボード取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。質的条件に対しては、数量化Ⅰ類手法[68]および、回帰分析を用いて作業時間の推定式を作成し、単位作業の時間を推定するための方法を提案する。そして、鋼製壁下地取付け作業を対象に適用を行い、提案した方法の有効性の検証を行う。

C.**作業内容の推定方法に関する研究**

作業者が実施している作業の自動計測方法として、作業者の姿勢や動作に関する身体の動きを測定するために、航空機等の方向や位置を 3 次元空間で制御するためのデータ収集用に開発された 6 自由度センサー[67)70)]を用いた作業者の姿勢データの収集方法を提案する。また、作業者に装着したセンサーから得られる 6 自由度データに基づき、作業の内容の推定を行うための特性値の算出方法を提案する。そして、基本的な作業に対する実験を行い、姿勢データの収集方法と特性値の算出方法を適用し、提案した方法の有効性の検証を行う。

作業者の姿勢データの特性値を用いた作業内容の推定方法として、作業者の 6 自由度データの特性値による推定の対象作業レベルを単位動作とし、安定した推定結果を得るため、推定する対象の時間幅である推定区間の多段階による設定方法を提案する。また、ニューラルネットワーク[71)]を用いて、特性値に対する実施する単位動作の有無の尺度である認識値を算出し、最適な推定結果を得るために推定区間の認識値の平均による単位動作の推定方法を提案する。そして、パネル取付けの作業実験を行い、収集したデータを用いて推定方法を適用し、提案した方法の有効性の検証を行う。

（参照文献）


1) 田村　恭、嘉納　成男、田中　重貴：建設工事計画自動作成システムに関する研究（その 2）仕様情報のグラフ構造による表現、日本建築学会学術講演梗概集、pp127－128、1974.10

2) 江口　禎他 3 名：型枠工事工程のシステム分析（その 1)、日本建築学会学術講演梗概集、pp445-446、1984.10

3) 嘉納　成男：作業工程計画手法の開発－建築工事の工程計画に関する研究(その 2)－、日本建築学会計画系論文報告集、pp94－103、1986.5

4) 鈴木　孝之：建築工事の工程計画に関する研究(その 3)－工程計画における情報確定プロセスの分析－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp153－160、1996.7

5) 大沢　幸雄：内部仕上げ工事における詳細工程計画手法の開発－施工プロセスチャートによる工程計画に関する研究（その 3)、日本建築学会計画系論文集、pp205－212、1998.8

6) 三根　直人、高田　博尾、椚　隆：内装・設備工事の工程分析－集合住宅における内装工事に関する研究その１－、日本建築学会計画系論文集、pp233－240、2000.8

7) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究－作業方法の選択プロセスの開発－、日本建築学会建築生産シンポジウム、pp265－272、2001.7

8) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究－生産プロセスの具現化－、日本建築学会学術講演梗概集、pp1123－1124、2000.9

9) 小林　弘昌、中川　正美：VE による施工段階の問題解決へのアプローチ、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp93－96、1986.7

10) 馬場　勇、岩崎　武俊、小田　勤：建設業における工事管理のための価値分析手法の研究(その 2)－反転機能系統図法の適用事例－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp69－72、1987.7

11) 岩崎　武俊：建築生産における VE 適用の推移、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp41－48、1994.7

12) 蟹澤　宏剛他 8 名：工事計画段階における部位工法選択のプロセス、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp261－266、1991.7

13) 佐藤　克志、野城　智也：公共建築における構工法選択に関する基礎的研究－生産から設計へのフィードバックの阻害要因－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp273－278、1991.7

14) 嘉納　成男、宮川　哲也：工事計画における創造的計画手法の開発－（その 1）工法機

能の展開と原理的知識の統合ー、日本建築学会建築生産シンポジウム、pp201－208、1999.7

15) 田村　恭、嘉納　成男、李　奕世：建設工事システムの研究（その 2）工法選択の評価モデルに関して、日本建築学会学術講演梗概集、pp129－130、1974.10

16) 山崎　雄介他 6 名：工法選択システムの開発、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp33－36、1986.7

17) 室　英治他 3 名：大規模プラントにおける鉄筋工事の施工性評価に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp8119－8120、1987.10

18) 王　英健、深尾　精一：集合住宅における間仕切りの建具枠部分の施工性に関する調査研究、日本建築学会計画計論文集、pp153－158、1996.5

19) 嘉納　成男他 4 名：山留壁の工法推定モデルとその推定精度の比較、日本建築学会計画系論文集、pp197－204、1998.8

20) 野崎　喜嗣：コンクリート工事における品質評価方法に関する研究、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp117－120、1987.7

21) 椎野　潤、名久井　聡、赤尾　洋二：共同住宅の機能展開－住宅設計と機能展開－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp113－116、1987.7

22) 田中　英司、鈴木　孝之：構工法選定における評価方法の研究－企画段階における選定評価－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp65－70、1993.7

23) 吉田　知洋他 5 名：AHP を用いた合理化工法の評価、日本建築学会学術講演梗概集、pp1001－1002、1996.9

24) 渡辺　昇：鉄筋工事作業の稼動分析と運搬管理に関する基礎的調査研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp273－274、1973.10

25) 室　英治：建築施工の労務工数とその標準化に関する研究、京都大学学位論文、1988.6

26) 柳田　晃他 4 名：超高層 RC 造建築の現場労務量に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp127－130、1988.7

27) 佐々木　晴夫、三浦　延恭：小規模建築躯体工事における主要職種の作業測定、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp115－120、1990.7

28) 湯谷　孝夫他 5 名：超高層 RC 造住宅における躯体工事の調査研究（その 1）－調査概要と工数の習熟特性－、日本建築学会学術講演梗概集、pp559－560、1989.10

29) 三根　直人：鉄筋コンクリート工事における作業管理の適正化に関する研究、早稲田大学学位論文、1992.3

30) 三島　富生、吉田　卓朗、室　英治：労務歩掛りの標準化に関する研究－中小オフィ

スビルの工数研究－、日本建築学会学術講演梗概集、pp667－668、1990.10

31) 三輪　明広他 4 名：フール PCa 化した超高層ＲＣ造住宅の労働生産性の分析、日本建築学会建築生産シンポジウム、pp259－264、1997.7

32) 田村　恭他 4 名:建築現場施工の合理化に関する研究第 1 報－動作経済の原則私案－、日本建築学会関東支部研究発表会、pp45－48、1963.1

33) 真上　晋他 3 名：建築生産への PTS（既定時間）法の適応に関する研究－枠組壁工法住宅建方工事の 1 階床組における簡易 MTM のケーススタディ－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp519－526、1994.7

34) 江口　敦士他 3 名：MOST 法による建築工事の標準時間設定－建築生産における PTS 法の適用に関する研究－、日本建築学会計画系論文集、pp135－144、1996.2

35) 吉村　康史、羽鳥　文雄、横井　裕司：プラント建設における配管据付工数評価方法の研究（第 1 報）－単位作業基準時間算出方法の基礎検討－、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1005－1006、1996.9

36) 吉田　知洋、鈴木　宏一：PCa 柱製作の合理化に関する研究－せん断補強筋配筋方法の生産性評価と構造性能の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1121－1122、1997.9

37) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性分析に関する研究－BASIC MOST 手法を用いた木造間仕切り壁の軸組工事の調査分析－、日本建築学会関東支部研究報告集、pp709－716、1999.3

38) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究－MOST 手法を用いた作業時間の推定方法に関する研究－、日本建築学会建築生産シンポジウム、pp97－104、1999.7

39) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究－MOST 手法の有効性に関する研究－、日本建築学会学術講演梗概集、pp1115－1116、1999.8

40) 若山　滋、後藤　一雄：PC 工法の生産分析－その 1・研究方法と調査経過－、日本建築学会論文報告集、pp21－27、1974.3

41) 脇坂　達也、向笠　慎二：建築生産における作業研究－その 3. 鉄鋼建方時間の推定方法について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp165－166、1975.10

42) 中島　正夫、神山　幸弘：木造住宅工法開発のための生産性分析ならびにその評価手法に関する研究（その 1)、日本建築学会構造系論文報告集、pp1－11、1985.5

43) 石堂　修次、田中　淳夫：建築工事における労務状況および労務予測手法に関する研究－その 1:RC 造集合住宅における労務状況、日本建築学会技術報告集、pp235－238、

2000.12

44) 小早川　敏：架構式プレキャスト鉄筋コンクリート工法の部材製造工程に関する工数調査および労働生産性の分析－架構式プレキャスト鉄筋コンクリート工法における労働生産性に関する調査研究（その 2）－、日本建築学会計画系論文集、pp287－293、2002.5

45) 蔡　成浩、嘉納　成男、末弘　貴久：建築工事における生産性に関する研究－鋼製間仕切り壁における作業時間の推定方法に関する研究－、日本建築学会建築生産シンポジウム、pp175－182、2000.7

46) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究－鋼製壁下地工事の運搬作業の数量化による時間推定－、日本建築学会学術講演梗概集、pp1335－1336、2000.9

47) 蔡　成浩、嘉納　成男、末弘　貴久：内装仕上げ工事の壁ボード張り工事に関する研究－壁ボード取付けの作業時間に関する研究－、日本建築学会関東支部研究報告集、pp85－89、2001.3

48) 小林　謙二、田村　恭：建築現場労働者の作業能率に関する研究－第 1 報、医用テレメータによる生体現象の測定－、日本建築学会学術講演梗概集、pp719－720、1970.9

49) 所　輝雄、村松　敏光、久武　経夫：IC カードを利用した建設工事管理の高度化、日本ロボット工業会建設ロボットシンポジウム論文集、pp95－98、1991.7

50) 高田　秀夫他 3 人:新鉄骨建方治具と計測システムの開発－鉄骨建方作業の合理化－、日本ロボット工業会建設ロボットシンポジウム論文集、pp239－246、1994.7

51) 大津　慎一、高田　知典、佐田　達典：DGPS による移動体の位置計測システム－移動式クレーン衝突監視システムへの適用－、日本ロボット工業会建設ロボットシンポジウム論文集、pp103－112、1997.7

52) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究－6 自由度データを用いた作業内容の推定方法の提案と検証－、日本建築学会学術講演梗概集、pp983－984、2002 年 8 月

53) 松岡　恒之介他 4 名：電子手帳を利用した作業進捗管理・仕上検査システムに関する研究、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp333－337、1992.7

54) 朋田　秀一、熊谷　鈴夫：ペンコンピュータ利用による作業所管理システム－仕上検査管理を中心としたシステム開発、日本建築学会学術講演梗概集、pp1027－1028、1994.9

55) 脇坂　達也他 3 名：新工法評価のための作業能率測定－作業日報分析と携帯端末によ

る作業測定－、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp281－286、1993.7
56) 三根　直人：進捗管理のモニタリング方式に関する研究、日本建築学会建築生産と管理技術シンポジウム、pp337－342、1994.7
57) 池田　啓二他 3 名：工事実績情報の収集・分析システムの開発－その 1、作業測定支援システムの開発－、日本建築学会学術講演梗概集、pp1025－1026、1994.9
58) 古市　克也他 3 名：高層住宅における高速リフトの作業分析について－その 1 実績データの収集方法と稼働率について－、日本建築学会学術講演梗概集、pp1055－1056、1995.8
59) 磯野　聖一他 4 名：特殊な建設工事における作業能率の測定と工学的分析・検討－その 1 作業能率の測定方法とその目的、日本建築学会学術講演梗概集、pp1001－1002、1998.9
60) 蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における作業推定システムに関する研究、日本建築学会、日本建築学会建築生産シンポジウム、pp201－208、2002.7
61) 日本建築学会：作業能率測定指針、日本建築学会、1990.2
62) 土屋　裕編：新・VE の基本、産能大学出版部、1998.5
63) 古屋　龍一：ワークデザイン技法、日刊工業新聞社、1981.4
64) Thomas L. Saaty：The Analytic Hierarchy Process、Thomas Saaty、1988
65) 伊藤　清和他 3 名：作業測定の実技、株式会社技術書院、1984.4
66) シェル・B・サンディン：MOST 画期的な標準時間の設定法、日本能率協会、1993.6
67) 水野　欽司：多変量データ解析講義、朝倉書店、1996.11
68) 林　知己夫：数量化－理論と方法－、朝倉書店、1993.11
69) 増田　良介：はじめてのセンサー技術、株式会社工業調査会、1998.11
70) 日本航空電子工業株式会社：MAXCUBE 取扱説明書、日本航空電子工業株式会社
71) 熊沢　逸夫：学習とニューラルネットワーク、森北出版株式会社、1998.7
72) Thomas L. Saaty：Deriving the AHP 1-9 scale from first principles、ISAHP2001,Berne,Switzerland,August 2-4,2001

# 第2章　作業方法の選定方法に関する研究

# 第２章　作業方法の選定方法に関する研究

## 2.1.作業プロセスの作成を用いた作業のモデル化

### 2.1.1.作業プロセスにおける作業方法

作業の目的を達成するための作業方法の内容及び、各作業間の順序関係を示す作業プロセスは、作業計画の段階で検討する必要がある。しかしながら、従来の建築工事における作業計画は、職種・工事・施工部位ごとのまとまり作業レベルにおける順序関係やその所要日数、実施する時期に関する管理に留まり、作業を実行するために必要な作業条件に適合した作業方法の選定は専門工事業者に依存する面が多かった。作業方法とは、作業を実行するために必要な具体的な手段である。作業計画において生産性の向上を考えるためには、作業プロセスを具現化し、作業方法の選定に考慮すべき項目を明確にするための作業のモデルの作成が不可欠である

そこで、作業のモデルは、作業の実行に必要である要素を定義し、作業に要求される要素の状態である作業条件及び、作業の実行による要素の状態である作業結果を明確にし、作業間の順序関係を表現する。更に、作業における作業方法の選定の指標となる評価項目及び、選定の対象である代替案を採りあげて示すことを目的とする。本研究の作成するモデルの作業レベルは、表.2.1.1 に示す如く、単位作業レベルとする。

表.2.1.1　作業分割のレベル [61)]

| 作業のレベル | 分割のあらさ | 分割の例 |
|---|---|---|
| まとまり作業 | 職種･工事･施工する部位などに注目して分割する作業の区分 | 準備･柱鉄骨建方･大梁鉄骨立方･小梁鉄骨立方など |
| 単位作業 | まとまり作業と要素作業の中間で、加工･組立て･検査･運搬などの単位で分割する区分 | 荷卸し･仮設取付け･揚重･建込など |
| 要素作業 | 特定の材料や機械･工具に係わる一連の動作の纏まりの区分 | 位置調整･ボルト締結･親綱張り･玉掛け外しなど |

注)日本建築学会の作業能率測定指針から引用

### 2.1.2.作業のモデルの作成方法

作業のモデルの作成は、作業を実行するために必要である「作業者」「部材」「部位」「情報」を作業の要素として定義する。定義した作業の要素の「作業場における位置」「大きさ・重さ・数量などの属性」「度合」などを要素の状態とする。作業に要求される要素の状態を作業条件とし、その作業条件を達成させるために必要である作業を先行の作業とする。また、作業に要求された要素の状態から作業の実行によって発生する新たな要素の状態を作業結果とし、その作業結果を作業条件にする作業を後行の作業とする。

以上の先行の作業と後行の作業を用いて作業間の順序関係を決める。更に、作業条件に従って作業を実行するために必要である具体的な手段を作業方法とする。

作業の要素の定義を壁下地取付け作業の例を採りあげ、以下の項目に示す。

① 作業者

作業を行う主体を意味する。

② 部材

作業の対象である部位を構成する、取付けを行う前の状態の材料・部品・部材の総称を意味する。

(例：石膏ボードの接着材、ALC 板の締め付け部品、鋼製壁下地部材)

③ 部位

作業の目的である設計図書に示された、位置・属性を有する、取付けを行った後の部材を意味する。

(例：設計図書に従って取付けられた間柱・台輪・まぐさ)

④ 情報

作業を実行するために必要とする部位及び、部材の位置・属性に対する、計測による情報と経験による知識を意味する。

(例：スタッド部材の長さ、手に持って運搬が可能な間柱部材の本数、間仕切り壁から床ランナの取付け位置までの寸法)

作業における作業条件・作業方法・作業結果の定義を壁下地取付け作業の例を採りあげ、以下の項目に示す。

① 作業条件

作業を実行するために必要な作業者・部材・部位・情報の状態を意味する

(例：ランナを間仕切壁の位置に取付けるためには、取付けの位置における作業者、取付け部位の長さの寸法に合わせて切断した取付け位置におけるランナ部材、取付け位置の長さの寸法に関する情報、ランナ部材の属性に関する情報が必要である)

② 作業方法

作業を実行する具体的な手段を意味する。

(例：ランナ材を鋲打ち銃で床スラブに打ち付ける)

③ 作業結果

作業を実行することによって発生する作業者・部材・部位・情報の状態を意味する。また、作業の要素以外に発生する「電動工具の使用による騒音」「溶剤による悪臭」「部材の切断による屑」などの状態は付随的作業結果とする。

(例：ランナを間仕切り壁の位置に取付けた結果、取付け位置における作業者、取付けられ

たランナ部位、取付け位置の長さの寸法に関する情報、ランナ部材の属性に関する情報、取付けられたランナ部位の位置に関する情報が発生する)

以上の項目に記した作業の要素と「作業条件」「作業方法」「作業結果」を用いた作業のモデルの作成手順を図.2.1.1 に示す。図に示す如く、手順 1 では、対象とする作業を設計図書である作業図面・工事標準仕様書・標準施工要領書に基づいて、まとまり作業と単位作業のレベルに分割する。手順 2 では、分割した単位作業ごとに作業を実行するために必要である「作業者」「部材」「部位」「情報」に要求される状態を設定し、作業条件とする。手順 3 では、作業の実行に用いることが可能である代替案を発想し、作業方法とする。また、最適な作業方法の選定の指標を設定し、評価項目とする。手順 4 では、作業の実行によって発生する作業の要素の状態を設定し、作業結果とする。手順 5 では、作業における作業条件を作業結果とする作業を設定し、先行の作業とする。また、作業結果を作業条件にする作業を設定し、後行の作業とする。

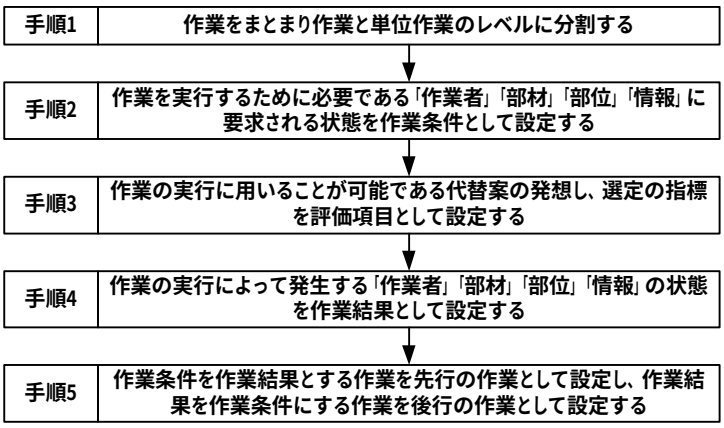



図.2.1.1　作業のモデルの作成手順

作業の単位作業レベルの分割は、図.2.1.2 に示す如く、作業の要素の状態を変化させる作業の内容に従って分類した「移動」「運搬」「計測」「加工」「取付け」「取外し」の単位作業の分類項目に基づいて行う。

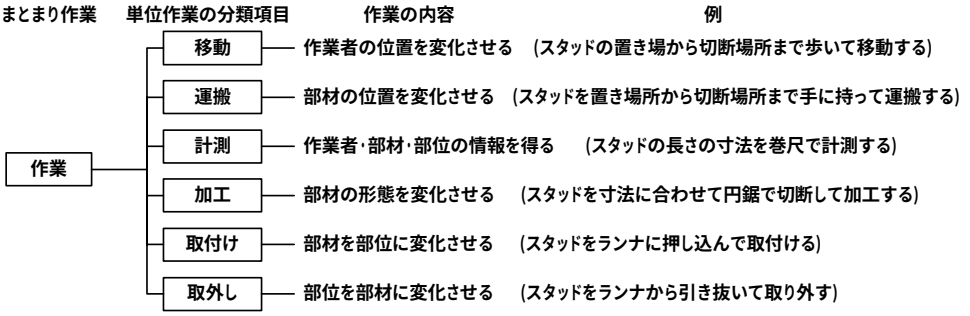



図.2.1.2　作業の内容による単位作業の分類項目

具現化した作業のモデルを図.2.1.3 に示す。図に示す如く、モデルは作業に対して検討すべき「作業条件」、「作業方法」、「作業結果」を明確化し、先行及び、後行の作業を設定して作成する。

作業条件の検討は、作業の実行に要求される作業条件とそれを達成させる先行の作業によって構成する。作業条件は、作業の要素である作業者・部材・部位・情報の状態として「作業者が作業を行うための適切な位置にいるか？」「作業の対象である部材を確保しているか？」「部材の属性に関する十分な情報を持っているか？」「部位の属性に関する十分な情報を持っているか？」を問い掛けて設定する。作業条件が達成されていない状態は、先行の作業を設定する。例えば、作業者の位置の状態を達成させる単位作業の分類項目は「移動」である。部材の位置の状態を達成させる単位作業の分類項目は「運搬」である。部位の寸法の状態を達成させる単位作業の分類項目は「加工」である。部材と部位に関する必要な情報の状態を達成させる単位作業の分類項目は「計測」である。

作業方法の検討は、評価項目と作業方法の代替案によって構成する。評価項目は、作業に対する最適な作業方法を選択するために用いる指標であり、「作業を実行する作業者の安全性」「部材と部位に対する適合性」「作業の省力性」などである。代替案は、作業条件によって発想した複数の手段を持つ作業方法である。

作業結果の検討は、作業を実行することによって発生する作業の要素の状態、後続の作業条件、必要とする後行の作業によって構成する。要素の状態は、作業者・部材・部位・情報の状態、及び付随的作業結果である。後続の作業条件は、「移動した作業者の位置の状態」「運搬した部材の位置の状態」など後行の作業が必要とする状態であり、その状態を達成するための作業を必要とする後行の作業とする。付随的作業結果の状態は、「騒音」「粉塵」「悪臭」などが発生した状態であり、それの防止に必要な作業条件を達成するために必要とする後行の作業を設定する。

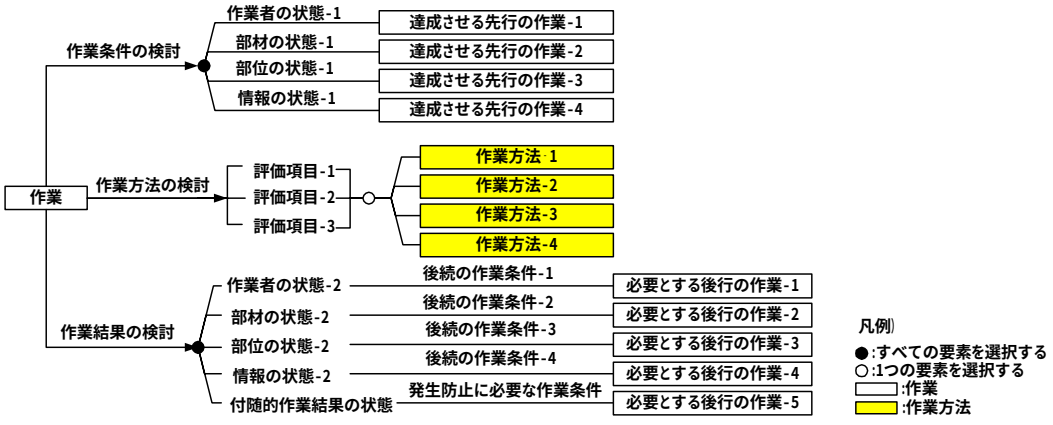



図.2.1.3　作業のモデル

### 2.1.3.鋼製壁下地取付け作業における適用

①建物と作業の概要

作業のモデルの適用を行うA工事の建物の概要を表.2.1.2.に示す。本工事は、SRC造の地上9階の大学校舎である。図.2.1.4には建物の基準階の平面図を示す。図.2.1.5には建物の北側立面図を示す。図.2.1.6には建物の東側立面図を示す。実態調査は5階の鋼製壁下地取付け作業を対象に行った。

表.2.1.2　調査を行ったA工事の建物の概要

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 用途 | 大学校舎 |
| 構造 | SRC造 |
| 敷地面積 | 109,199.56m$^2$ |
| 建築面積 | 772.18m$^2$ |
| 延べ床面積 | 6,082.07m$^2$ |
| 建物高さ | 39.1m |
| 階数 | 地下0階、地上9階、PH1階 |
| 工事期間 | 1998年9月24日～1999年12月15日 |

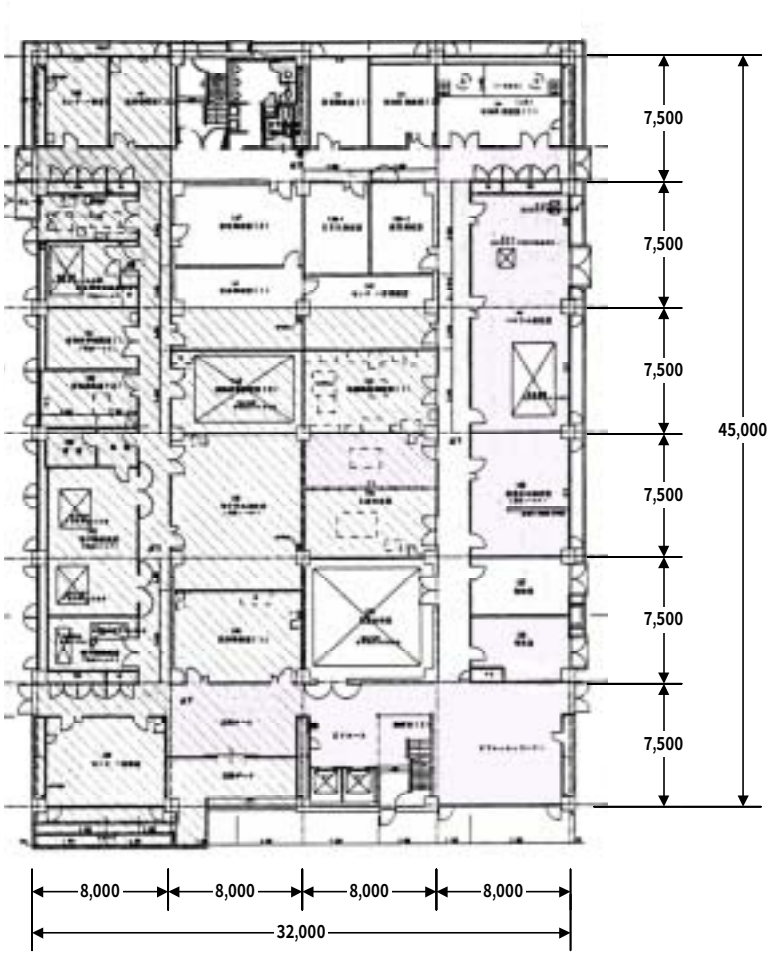



図.2.1.4　A工事の基準階の平面図(単位：mm)

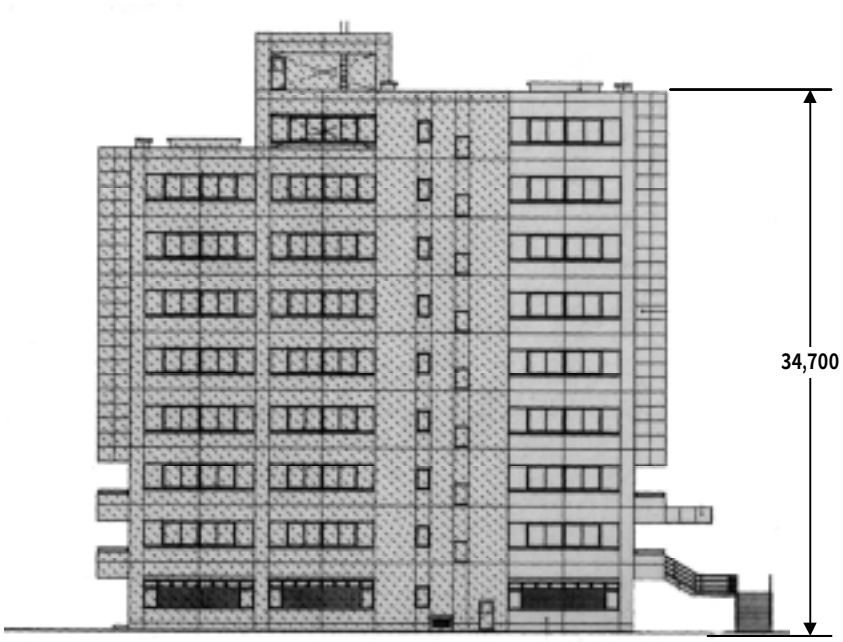



図.2.1.5　A 工事の建物の北側立面図(単位：mm)

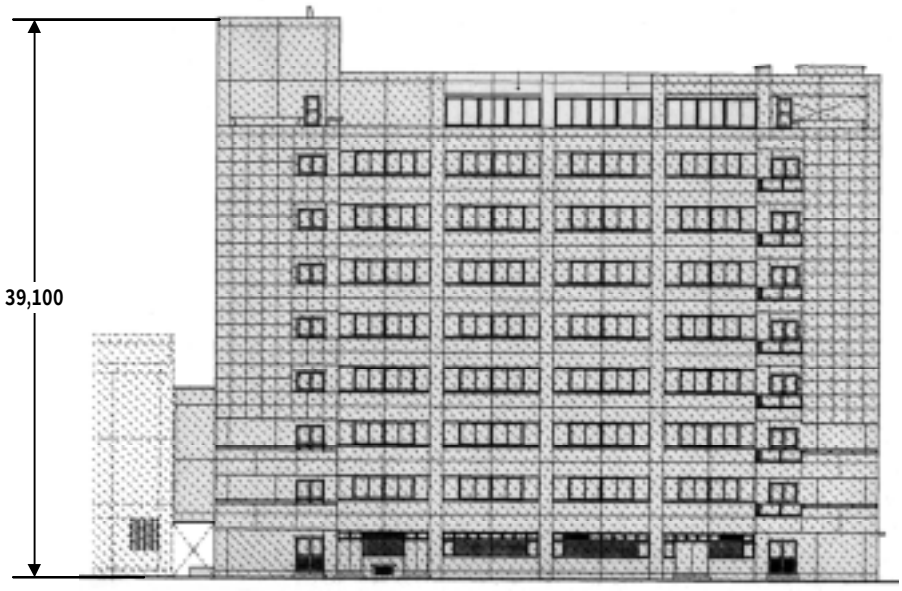



図.2.1.6　A 工事の建物の東側立面図(単位：mm)

調査を行った鋼製下地の間仕切り壁の平面図を図.2.1.7 に示す。対象とした壁の床ランの長さは 107.71mであり、上部ランナの長さは 138.11m であった。壁の高さは天井スラブの下の場合は床スラブまで 3.64m であり、梁の下の場合は梁の高さによって床スラブまで 2.89m 、2.94m、3.04m であった。

鋼製壁下地に用いた各部材の構成と名称を図.2.1.8 に示す。部材は亜鉛鉄板を用いて成

形されたものであり、各部材は工場で長さ 4m に予め切断され、現場に搬入された。各部位の部材の性能及び、取付け作業に関する仕様は日本建築学会の建築工事標準仕様書(JASS26-内装工事)に準拠した。

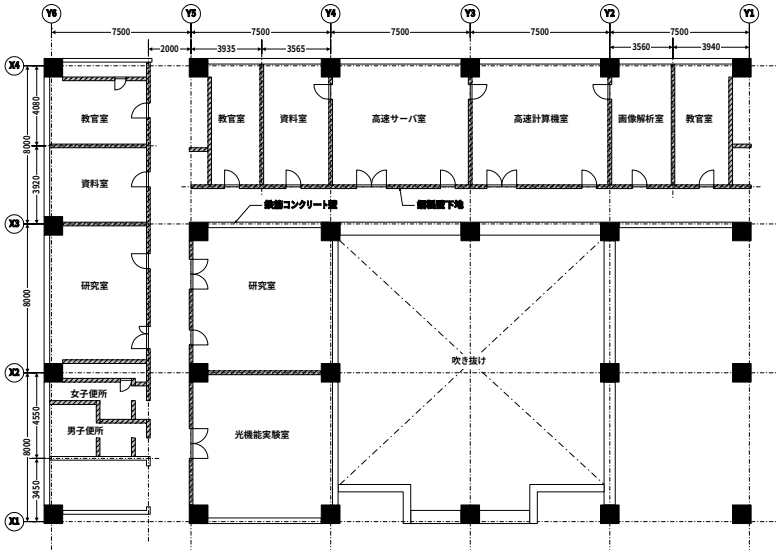
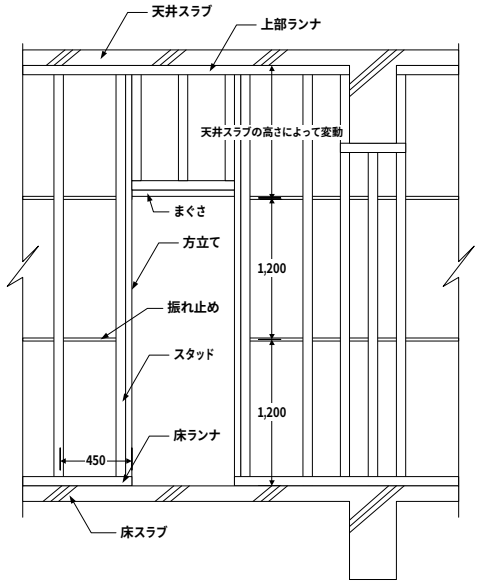



図.2.1.7　調査の対象とした鋼製壁下地取付け部位の平面図(単位：mm)



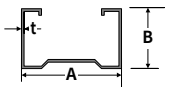
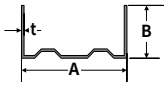
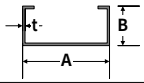

| 部材 | 形状 | 寸法(A×B×t mm) | 単位重量(kg/m) |
|---|---|---|---|
| スタッド |  | 65 × 45 × 0.8 | 1.120 |
| 上部ランナ<br>床ランナ |  | 67 × 40 × 0.8 | 0.928 |
| 振れ止め | | 25 × 10 × 1.2 | 0.384 |
| まぐさ<br>方立て |  | 60 × 30 × 2.3 | 2.300 |

図.2.1.8　鋼製壁下地の各部材の構成と名称(単位：mm)

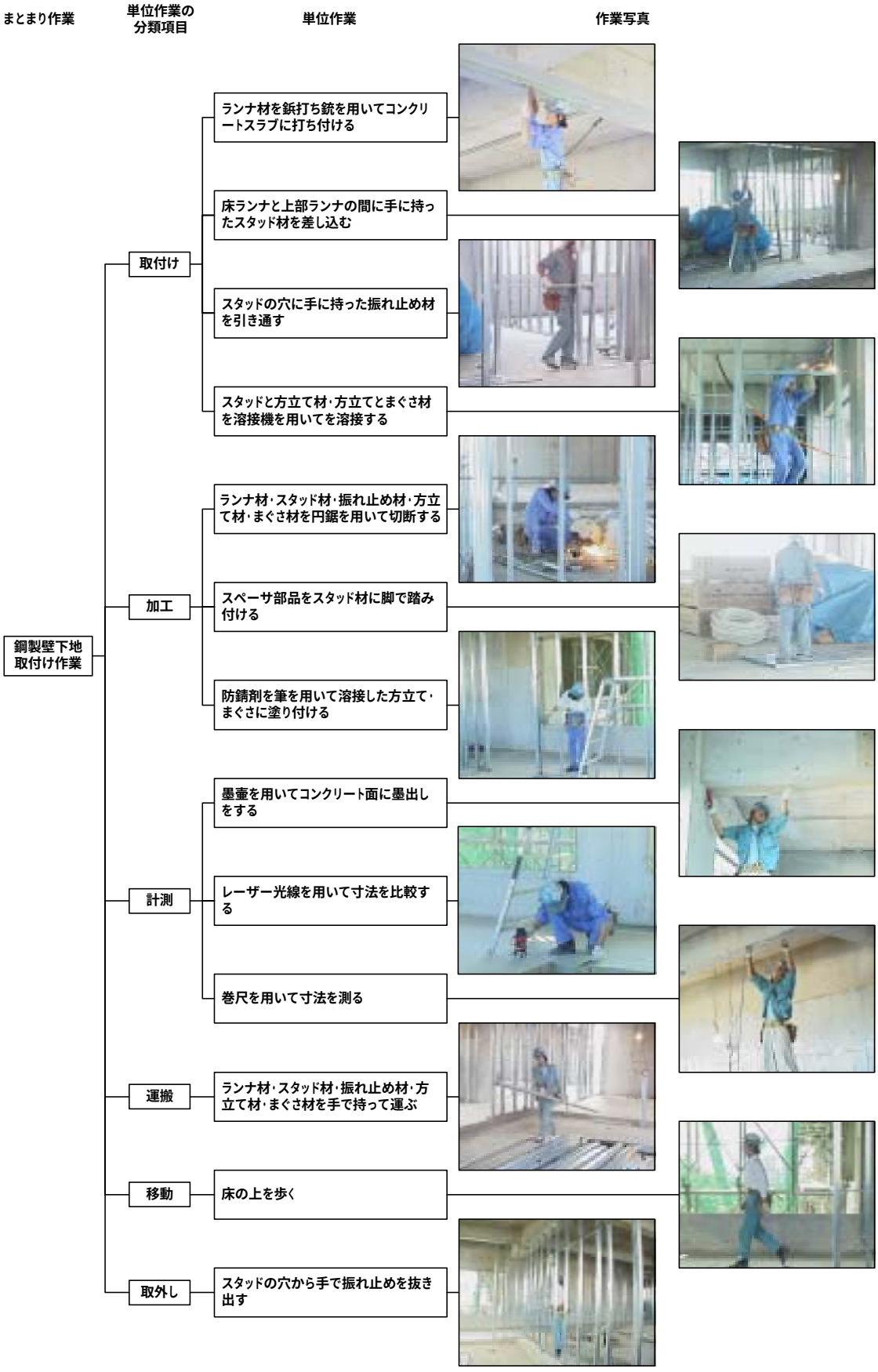



図.2.1.9　A 工事の鋼製壁下地取付け作業における単位作業

②単位作業の分割

A 工事における鋼製壁下地取付け作業は 2 人の作業者が 1 組になって行った。作業は躯体工事が終了した状態で芯墨を基準にランナ取付け位置の寸法を測定し、墨壷を用いてその位置の墨出しをする作業から行った。上部ランナの取付けの場合は、レーザー測定器を用いて芯墨を天井スラブに映して位置を決め、墨出しを行った。使用する部材は加工を行う場所に搬入されていたため、運搬作業の測定は加工場所に搬入された状態からの運搬を対象にした。部材の加工は、長さ寸法の調整のための電動円鋸による切断、スタッド材の補強のためのスペーサの取付け、溶接した部材の錆を防ぐための防錆剤の塗り付けを行った。取付けは部材ごとに異なる作業方法を用いて行った、ランナ取付けは鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付けし、スタッド取付けは上部ランナと床ランナの間に差し込みした。また、振れ止め取付けはスタッドの穴に引き通しし、まぐさと方立ての取付けはスタッドに溶接して張り付けをした。

2 人の作業者は作業平面を 2 つに分割して作業を行い、共同作業は上部ランナ取付けにおける保持のみであった。部材の取付け順序は、先ず上部ランナ材と床ランナ材をスラブに取付け、その後ランナの間にスタッド材を差し込んだ。次に、振れ止め材をスタッドの穴に通して、開口部のスタッドに方立て材を溶接して、方立てにまぐさ材を溶接して取付ける順に行った。

作業分割は鋼製壁下地取付け作業をまとまり作業とし、単位作業のレベルまでに行った。A 工事の鋼製壁下地取付け作業の作業分割は図.2.1.9 に示す如く、取付け、加工、計測、運搬、移動、取外しの単位作業の分類項目に基づいて行った。

③作業のモデルの作成

単位作業の分類項目である取付け・加工・運搬・計測・移動・取外しに基づいて分割した鋼製壁下地取付け作業の単位作業のモデルを作成し、その結果を以下の項目に示す。

A.取付け

取付けにおける「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」に対して作成した作業のモデルを図.2.1.10 に示す。図に示す如く、作業条件は、取付けを行うために必要とする「作業者」「部材」「情報」の状態である。作業者の状態は、取付けを行うことが可能である位置に作業者が居る状態であり、それを達成させる先行の作業は「取付けの位置に作業者が移動する」である。部材の状態は、取付ける部位に適した属性の状態を有し、取付けを行う作業者の手に届く距離にある位置の状態である。属性の状態を満足させる先行の作業は「属性を満足する部材を加工する」であり、位置の状態を満足させ

る先行の作業は「取付けの位置に部材を運搬する」である。情報の状態は、取付けるの部位に対する位置及び、取付け部位に必要とする部材の寸法であり、それを満足させる先行の作業は「部材の属性の情報を計測する」「取付けの位置の情報を計測する」である。

作業方法は、「部材の性質に適合である」、「作業を行う上で安全である」、「動きが省力である」を評価項目とし、ランナをコンクリートスラブに取付けるために用いることが可能な 9 つの作業方法を代替案として採りあげて示した。

作業結果は、取付けを行った後の「作業者」「部位」「情報」「付随的作業結果」の状態である。作業者の状態は、取付けを行った位置に作業者が居る状態であり、後続の作業条件が「運搬の位置の作業者」の状態である場合、それに必要とする後行の作業は「運搬の位置に作業者が移動する」である。部位の状態は、取付けられた部位の状態であり、後続の作業条件が「現在の状態ではない部位」である場合、それに必要とする後行の作業は「部位を取外す」である。情報の状態は、取付けられた部位と取付けた部材の属性に関する情報であり、後続の作業条件が「部位の属性の情報」と「部材の属性の情報」である場合、それに必要とする後行の作業は「取付けの位置の情報を計測する」と「部材の属性の情報を計測する」である。付随的作業結果の状態は、取付けを行った際発生する音であり、後続の作業条件が「音が漏れない作業場」である場合、それに必要とする後行の作業は「防音装置を取付ける」である。

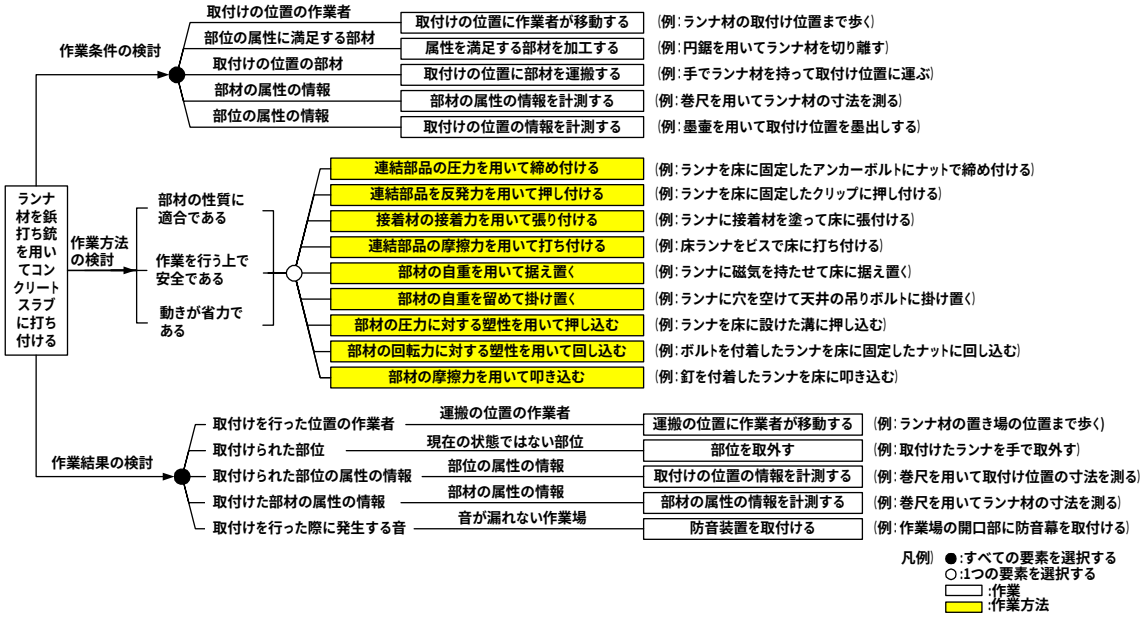



図.2.1.10「ランナを鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」の作業のモデル

B.加工

加工における「ランナ材を円鋸を用いて切断する」に対して作成した作業のモデルを図.2.1.11 に示す。図に示す如く、作業条件は、加工を行うために必要とする「作業者」「部材」「情報」の状態である。それを達成させる先行の作業は「加工の位置に作業者が移動する」「加工の位置に部材を運搬する」「部材の属性の情報を計測する」「加工寸法の情報を計測する」である。

作業方法は、「部材の性質に適合である」、「作業を行う上で安全である」、「動きが省力である」を評価項目とし、ランナを切断するために用いることが可能な 6 つの作業方法を代替案として採りあげて示した。

作業結果は、加工を行った後の「作業者」「部材」「情報」「付随的作業結果」の状態である。その状態を後続の作業条件の状態にする場合に必要とする後行の作業は「取付けの位置に作業者が移動する」「取付けの位置に部材を運搬する」「取付けの位置の情報を計測する」「部材の属性の情報を計測する」「鉄屑を収集場まで運搬する」である。

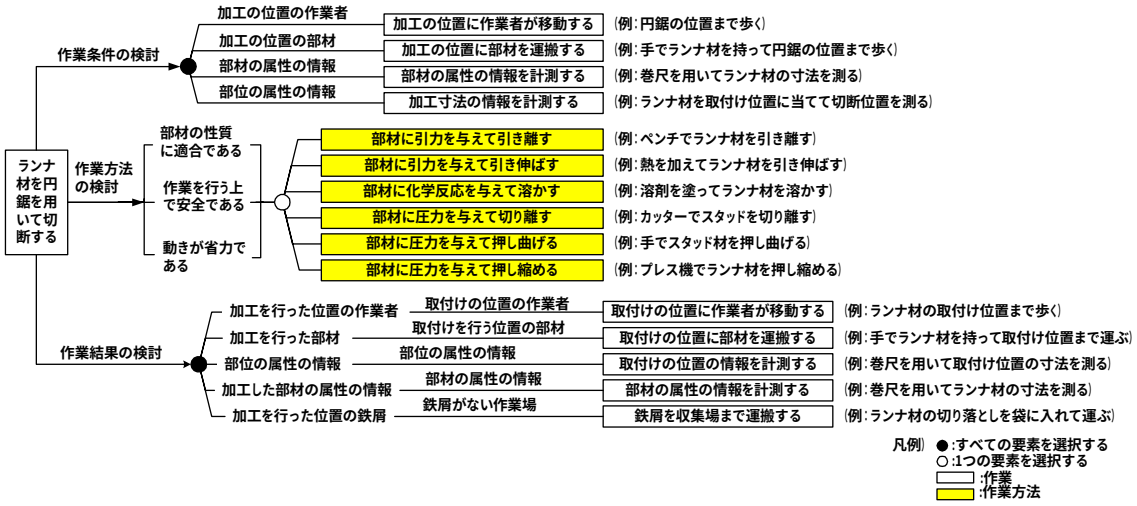



図.2.1.11　「ランナ材を円鋸を用いて切断する」の作業のモデル

C.運搬

運搬における「ランナ材を手で持って運ぶ」に対して作成した作業のモデルを図.2.1.12 に示す。図に示す如く、作業条件は、加工を行うために必要とする「作業者」「部材」「情報」の状態である。それを達成させる先行の作業は「運搬の位置に作業者が移動する」「運搬の位置に部材を運搬する」「部材の属性の情報を計測する」「部材の位置の情報を計測する」である。

作業方法は、「部材の性質に適合である」、「作業を行う上で安全である」、「動きが省力

である」を評価項目とし、ランナを運ぶために用いることが可能な 9 つの作業方法を代替案として採りあげて示した。

作業結果は、運搬を行った後の「作業者」「部材」「情報」の状態である。その状態を後続の作業条件の状態にする場合に必要とする後行の作業は「加工の位置に作業者が移動する」「属性を満足する部材を加工する」「加工寸法の属性の情報を計測する」「取付けの位置の情報を計測する」である。

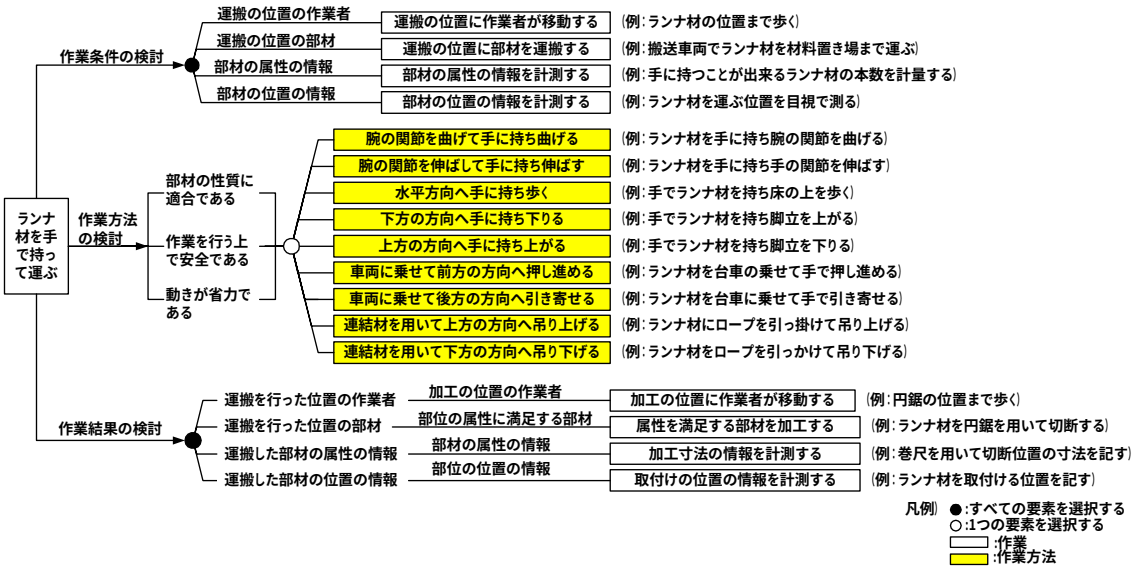



図.2.1.12　「ランナ材を手で持って運ぶ」の作業のモデル

D.計測

計測における「巻尺を用いて寸法を測る」に対して作成した作業のモデルを図.2.1.13 に示す。図に示す如く、作業条件は、計測を行うために必要とする「作業者」「情報」の状態である。それを達成させる先行の作業は「計測の位置に作業者が移動する」「部位の属性の情報を計測する」「部材の属性の情報を計測する」である。

作業方法は、「部材の性質に適合である」、「作業を行う上で安全である」、「動きが省力である」を評価項目とし、寸法を測るために用いることが可能な 7 つの作業方法を代替案として採りあげて示した。

作業結果は、計測を行った後の「作業者」「情報」の状態である。その状態を後続の作業条件の状態にする場合に必要とする後行の作業は「運搬の位置に作業者が移動する」「目標の情報を計測する」「経路の情報を計測する」である。

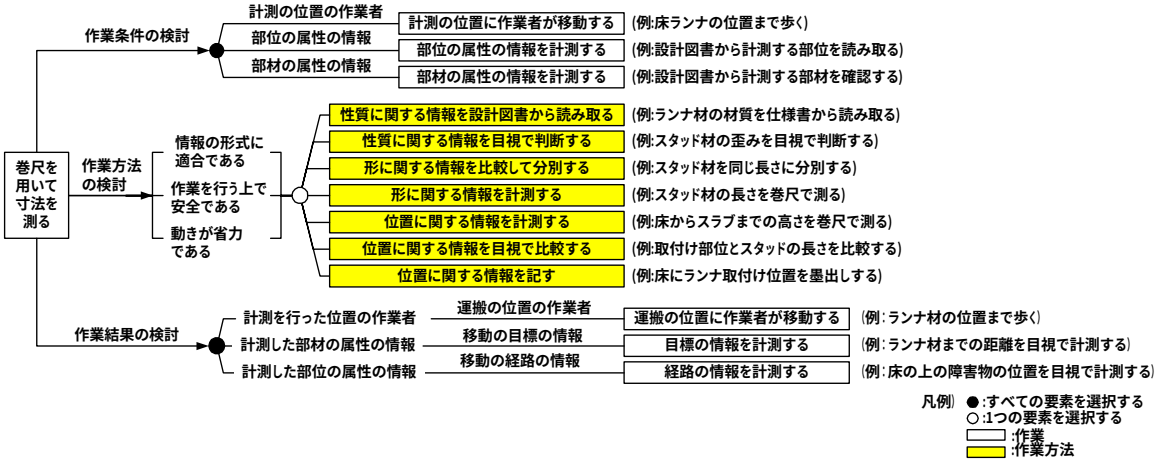



図.2.1.13　「巻尺を用いて寸法を測る」の作業のモデル

E.移動

移動における「床の上を歩く」に対して作成した作業のモデルを図.2.1.14 に示す。図に示す如く、作業条件は、移動を行うために必要とする「作業者」「情報」の状態である。それを達成させる先行の作業は「移動の位置に作業者が移動する」「目標の情報を計測する」「経路の情報を計測する」である。

作業方法は、「部材の性質に適合である」、「作業を行う上で安全である」、「動きが省力である」を評価項目とし、移動するために用いることが可能な 5 つの作業方法を代替案として採りあげて示した。

作業結果は、移動を行った後の「作業者」「情報」の状態である。その状態を後続の作業条件の状態にする場合に必要とする後行の作業は「計測の位置に作業者が移動する」「部位の属性の情報を計測する」「部材の属性の情報を計測する」である。

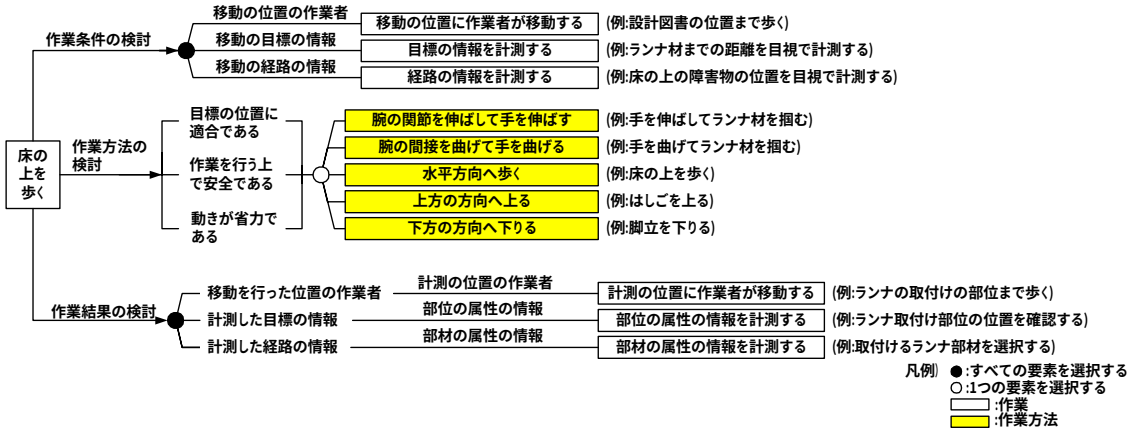



図.2.1.14　「床の上を歩く」の作業のモデル

F.取外し

取外しにおける「スタッドの穴から手で振れ止めを抜き出す」に対して作成した作業のモデルを図.2.1.15 に示す。図に示す如く、作業条件は、取外しを行うために必要とする「作業者」「情報」の状態である。それを達成させる先行の作業は「取外しの位置に作業者が移動する」「部位の属性の情報を計測する」である。

作業方法は、「部材の性質に適合である」、「作業を行う上で安全である」、「動きが省力である」を評価項目とし、取外すために用いることが可能な 4 つの作業方法を代替案として採りあげて示した。

作業結果は、移動を行った後の「作業者」「情報」「部材」の状態である。その状態を後続の作業条件の状態にする場合に必要とする後行の作業は「計測の位置に作業者が移動する」「部位の属性の情報を計測する」「加工の位置に部材を運搬する」である。

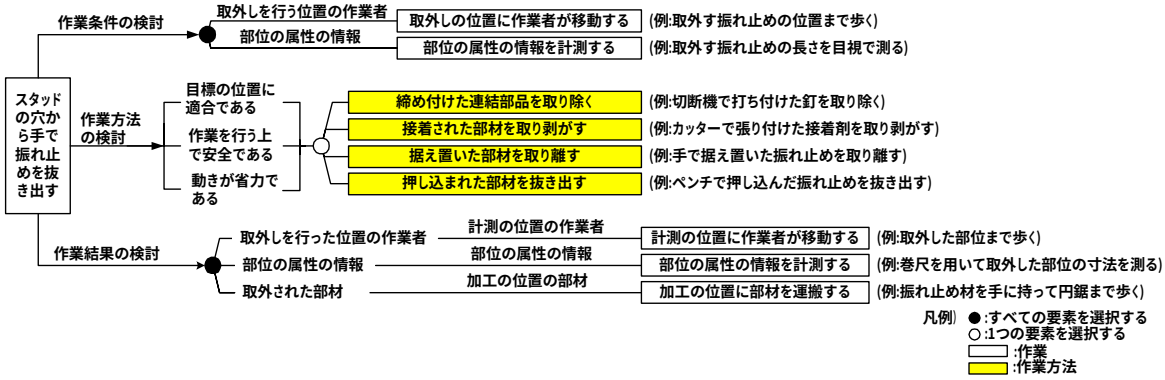



図.2.1.15　「スタッドの穴から手で振れ止めを抜き出す」の作業のモデル

## 2.1.4.結

作業方法の選定における、作業のモデル化の必要性を指摘し、作業を「単位作業」のレベルで分割してモデルを作成することを提案した。

作業の要素として、作業の主体である「作業者」、作業の対象である部位を構成する「部材」、取付けられた部材である「部位」、部位と部材の位置・属性に対する「情報」を定義し、その事例を示した。

作業における、作業を実行するために必要である作業の要素の状態である「作業条件」、作業を実行する具体的な作業手段である「作業方法」、作業の実行によって発生する作業の要素の状態である「作業結果」を定義し、その事例を示した。

以上で定義した各項目を用いて作業のモデルを作成するための考え方を示し、その手順を提案した。(図.2.1.1 参照)

作業のモデルは以下に示す 3 つの部分によって順序関係を決定することを提案し、それを表現するモデルを提案した。

① 「作業条件の検討」: 作業の要素の状態を達成させるために必要とする作業を検討し、達成させる先行の作業とする。

② 「作業方法の検討」: 評価項目を選択の基準として、作業の要素の状態から発想した作業方法を代替案とする。

③ 「作業結果の検討」: 作業の実行によって発生する作業の要素の状態と後続の作業条件に必要とする作業を検討し、必要とする後行の作業とする。

作業のモデルによって、作業間の順序関係及び、作業方法の選定のための評価項目と代替案を表現することが可能であることを提案した。(図.2.1.3 参照)

鋼製壁下地取付け作業における実態調査を行い(図.2.1.9 参照)、その結果により、以下の作業における作業のモデルの作成結果を示した。

① 「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」(図.2.1.10 参照)

② 「ランナ材を円鋸を用いて切断する」(図.2.1.11 参照)

③ 「ランナ材を手で持って運ぶ」(図.2.1.12 参照)

④ 「巻尺を用いて寸法を測る」図.2.1.13 参照)

⑤ 「床の上を歩く」(図.2.1.14 参照)

⑥ 「スタッドの穴から手で振れ止めを抜き出す」(図.2.1.15 参照)

以上の作業のモデルを実測した作業と比較検討の結果、提案したモデルは単位作業を実行するために検討すべき条件と結果を明確にするとともに、それによって各作業の順序関係を表現できることを明らかにした。また、作業方法の選定に必要な評価項目と代替案の内容を体系的に表現することを確認した。

## 2.2.機能抽出と機能展開を用いた作業方法の発想

### 2.2.1.作業プロセスにおける機能抽出と機能展開

作業計画における作業方法の選定は、作業を行う専門工事業者が経験と知識の範囲で行う場合が多く、計画者は実行する作業の内容を事前確認する段階に留まっている。その理由として、現在使用されている作業方法を評価して代替案を簡単に発想するための方法がないことを挙げられる。その結果、作業計画の段階において作業方法に対する検討が十分行われない、新しい部材や工法の開発に伴う作業方法の検討は作業を実施した結果に基づいて行うといった問題点が発生する。そのため、作業の実行に用いることが可能な作業方法の代替案を網羅的に発想するための方法が必要である。

既存における代替案となる作業方法の発想手段は、作業を機能として捉えて果たすべき目標を追求する VE 手法、作業を機能として捉えて存在目的を追求するワークデザイン手法、主に物の改善に対して問題の定義と問題の解決からなる発明の原理を用いる TRIZ 手法などが挙げられる。

本研究では、作業の目的を達成するための新たな作業方法の発想を支援するための方法の提案とその適用性の検討を目的とする。そこで、機能抽出を用いて作業を「機能」という側面から捉えて、それが果たすべき目的を明確化する。さらに、抽出した「機能」から機能展開を行い、より広い範囲の概念を持つ抽象化した「機能」を求める。そこから再び展開した「機能」を実態として捉え、具体化を行うことにより新たな作業方法を発想する。尚、「機能」とは、計画者や作業者が意図する作業の特定の働き・役割・目的・作用である。

### 2.2.2.機能抽出と機能展開の方法

**①機能抽出**

作業における機能抽出は、作業の機能を網羅的に採りあげるために、作業結果及び、付随的作業結果の二つの側面に関する資料・データに基づいて行う。即ち、作業結果を分析することによって作業における基本的な機能を抽出し、付随的作業結果の問題点を分析することによって作業における二次的な機能を抽出する。

A.作業結果に基づく機能抽出

作業のモデルを作成して明らかにした作業条件から作業に求められている機能を抽出し、作業によって発生する作業結果の状態を具体的に定義する。状態の機能は、その状態が果たす必要である「正の機能」と果たす必要ではない「負の機能」に分けて抽出する。

作業結果に基づく機能抽出の手順は図.2.2.1 に示す如く、作業のモデルを作成して作業の順序関係を明確にする。作業を実行するための状態を達成させる先行の作業に求められ

る機能を抽出する。作業結果の状態を具体的に定義する。定義した状態から、作業が果たすべき状態をその目的に照らし合わせ、目的に必要な正の機能と目的に必要ではない負の機能を抽出する。

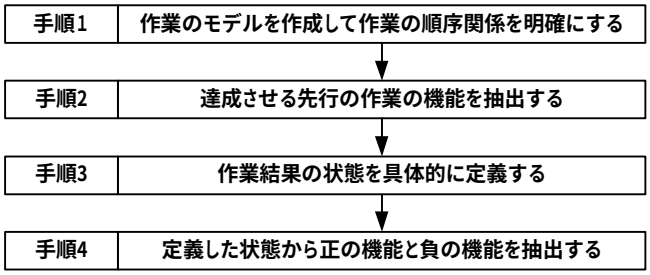



図.2.2.1　作業結果に基づく機能抽出の手順

作業結果に基づく機能抽出の概念を図.2.2.2 に示す。図に示す如く、実行する対象の作業を「作業」にし、「作業」の作業条件の状態を達成させる先行の作業を「達成させる先行の作業－1」と「達成させる先行の作業－2」にした場合、その作業の機能は「抽出した機能－1」「抽出した機能－2」「抽出した機能－3」である。作業結果の状態を、「作業結果の状態－1」「作業結果の状態－2」「作業結果状態－3」にした場合、その状態について果たす必要である「正の機能」と果たす必要ではない「負の機能」を抽出する。

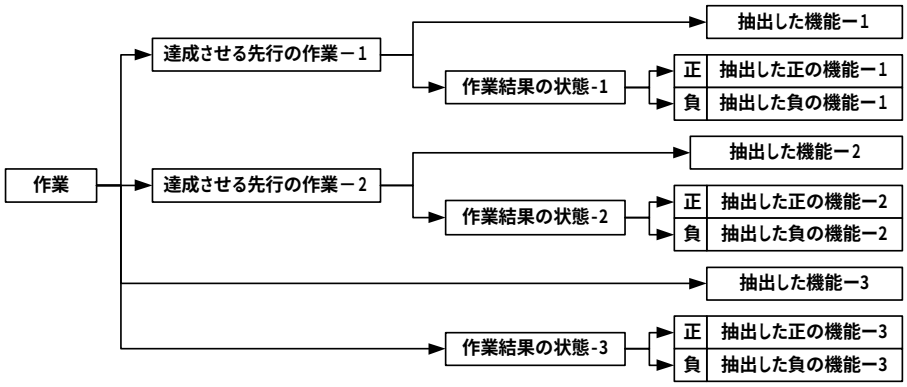



図.2.2.2　作業結果に基づく機能抽出の概念

B.付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出

作業の実行によって発生する付随的作業結果の問題点の起因は「外的要因」と「内的要因」に大別する。「外的要因」とは、作業において守るべき外的な作業条件に起因して生じるものであり、その要因そのものを無くしたり、回避したりすることはできない。具体的には、自然条件(地形や地盤や気候など)、環境条件(近隣公害や交通規制など)、発注条件(契約内容や契約者からの要求など)、法的条件(法規制や官庁からの要求など)がある。

「内的要因」とは、作業における諸活動に起因して生じるものであり、作業プロセスの

中で制御可能な要因である。具体的には、管理条件(品質や原価や工程など)、生産資源条件(労務や材料や機械など)がある。

付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出の手順は図.2.2.3 に示す如く、問題を起こす「外的要因」と「内的要因」に従って作業結果に伴う問題点を列挙することによって問題が生じる発生原因を明確にする。発生原因は構文に表し、発生しない状態に変換する。その状態を作業条件とする作業を採りあげ、その機能を抽出する。また、作業によって発生する作業結果の状態の機能については「正の機能」と「負の機能」に抽出する。

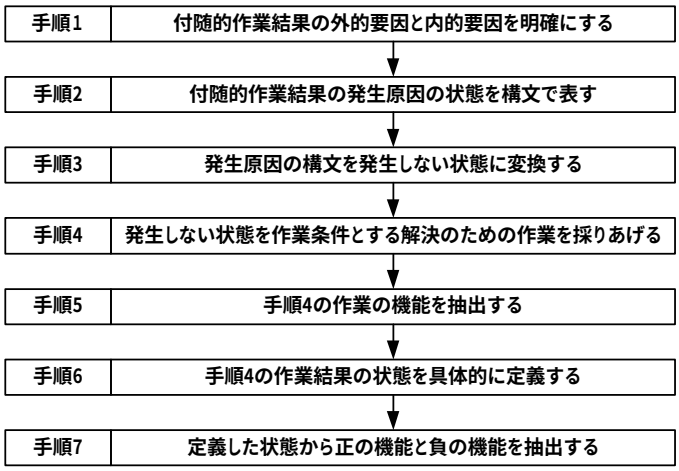



図.2.2.3　付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出の手順

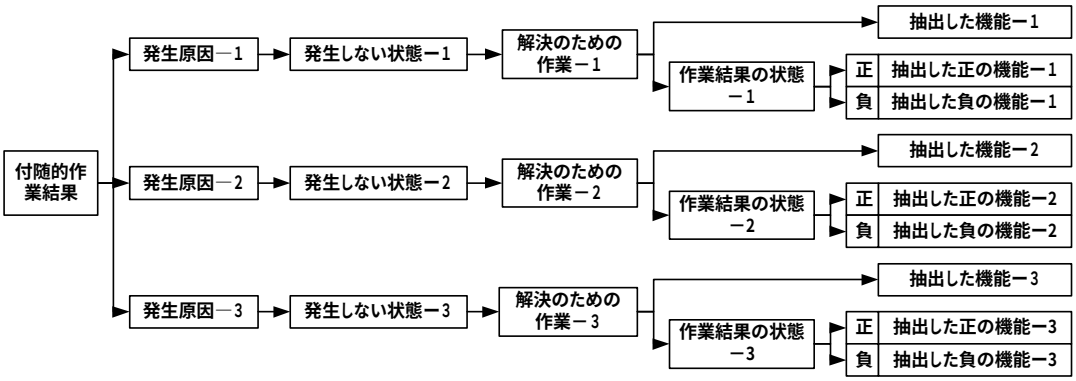



図.2.2.4　付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出の概念

付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出の概念を図.2.2.4 に示す。図に示す如く、発生した付随的作業結果に対して、その問題点の原因を「発生原因－1」、「発生原因－2」、「発生原因－3」とする。各発生原因に対して構文の語尾を反意語へと変換し、「発生しない状態」を作成する。問題が発生しない状態を達成するための作業を「解決のための作業」とする。「解決のための作業」が果たす機能を「抽出した機能」とする。「解決のための作業」の実行によって発生する状態を「作業結果の状態」とし、「作業結果の状態」を正の状

態と負の状態に分類し、各状態の機能について「抽出した正の機能」と「抽出した負の機能」を抽出する。

**②機能展開**

機能抽出を行い、作業の実態を抽象的な側面から捉えた機能を含むより広範囲な機能を定義するための方法が機能展開である。機能展開は、抽出した作業の機能に対してより上位の概念を持つ機能を「作業に対する上位機能の追求」「表現文に対する上位機能の追求」「部材に対する形状の抽象化」「部材に対する材質の抽象化」「構文に対する類似構文の検索」の 5 つの方法を用いて抽出する。抽出した機能から、その機能を満足させる関連作業の実施例などの参照によって再び実態としての作業を導き、多くの代替案の発想を行う。

機能展開に用いる 5 つの方法の内容を以下の項目に記す。

A.作業に対する上位機能の追求

作業が何の目的のために存在するかを追求する。抽出した作業の機能に対して「なぜその機能が必要なのか？」を順次繰り返し問い掛けることにより、その機能が果たせねばならない上位の機能を明らかにし、それを達成する作業を発想する方法であり、ワークデザインにおいても使用される方法である。

B.表現文に対する上位機能の追求

機能を表現する用語及び、動詞について上位の機能を表現する。機能を表す構文を「部材」、「部位」及び、「手段」を表す単語に分類し、各単語が意味する内容を含むより広範囲の概念を持つ単語を探して入れ替えることによって上位の機能の構文を作成し、各段階に応じた作業を発想する方法である。

C.部材に対する形状の抽象化

作業に関連する部材を形状で表現する。作業に用いる部材を「点状」、「線状」、「面状」、「立体状」の 4 つの形状に抽象化し、形状特有の典型的な作業の機能に展開する方法である。作業において扱われる部材の形状によって、作業が大きく影響を受けることに着目した方法である。4 つの形状に分類した部材の結合は、図 2.2.5 に示す如く、隣接・統合・交差・連接・突起の結合形式を有する。図.2.2.6 に各形状の結合形式に対応した作業事例の一覧を示す。表に示す如く、形状によって展開した機能から結合形式ごとに纏められた作業の事例を用いて作業の発想を行う。

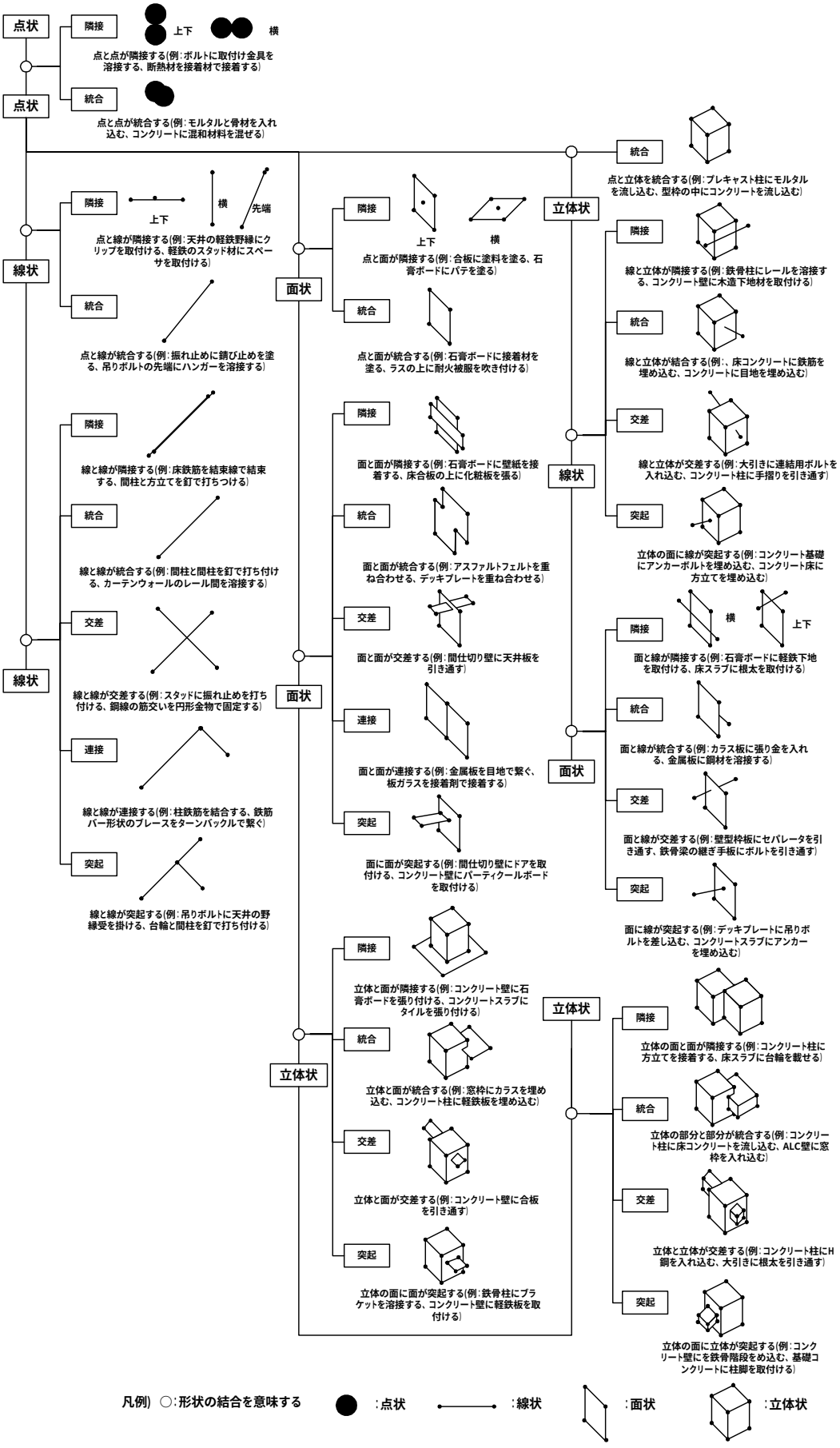



図.2.2.5　形状の結合形式

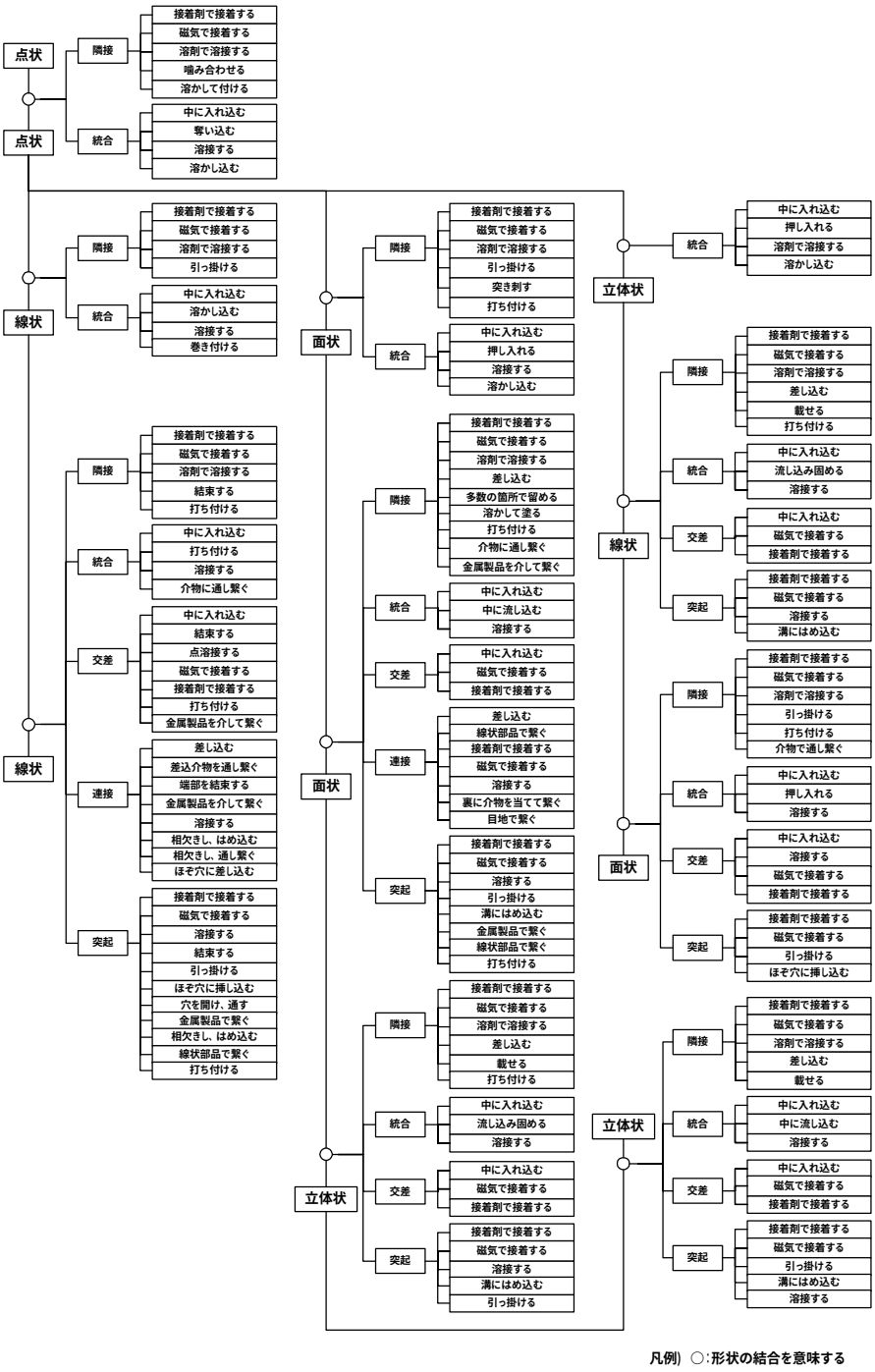



図.2.2.6　結合形式に対応した作業事例の一覧

D.部材に対する材質の抽象化

作業に関連する部材を材質で表現する。作業に用いる部材を金属系、木質系、セメント系、高分子系、ガラス系、石材骨材系、石綿岩綿系、アスファルト系、陶磁器系の９種類の材質に抽象化し、材質特有の典型的な作業に展開する方法である。作業において扱われる部材の材質よって、作業が大きく影響を受けることを着目した。図.2.2.7 には材質の結合形式に纏めた作業事例の一覧を示す。図に示す如く、材質によって展開した機能から結

合形式ごとに纏められた作業の事例を用いて作業の発想を行う。

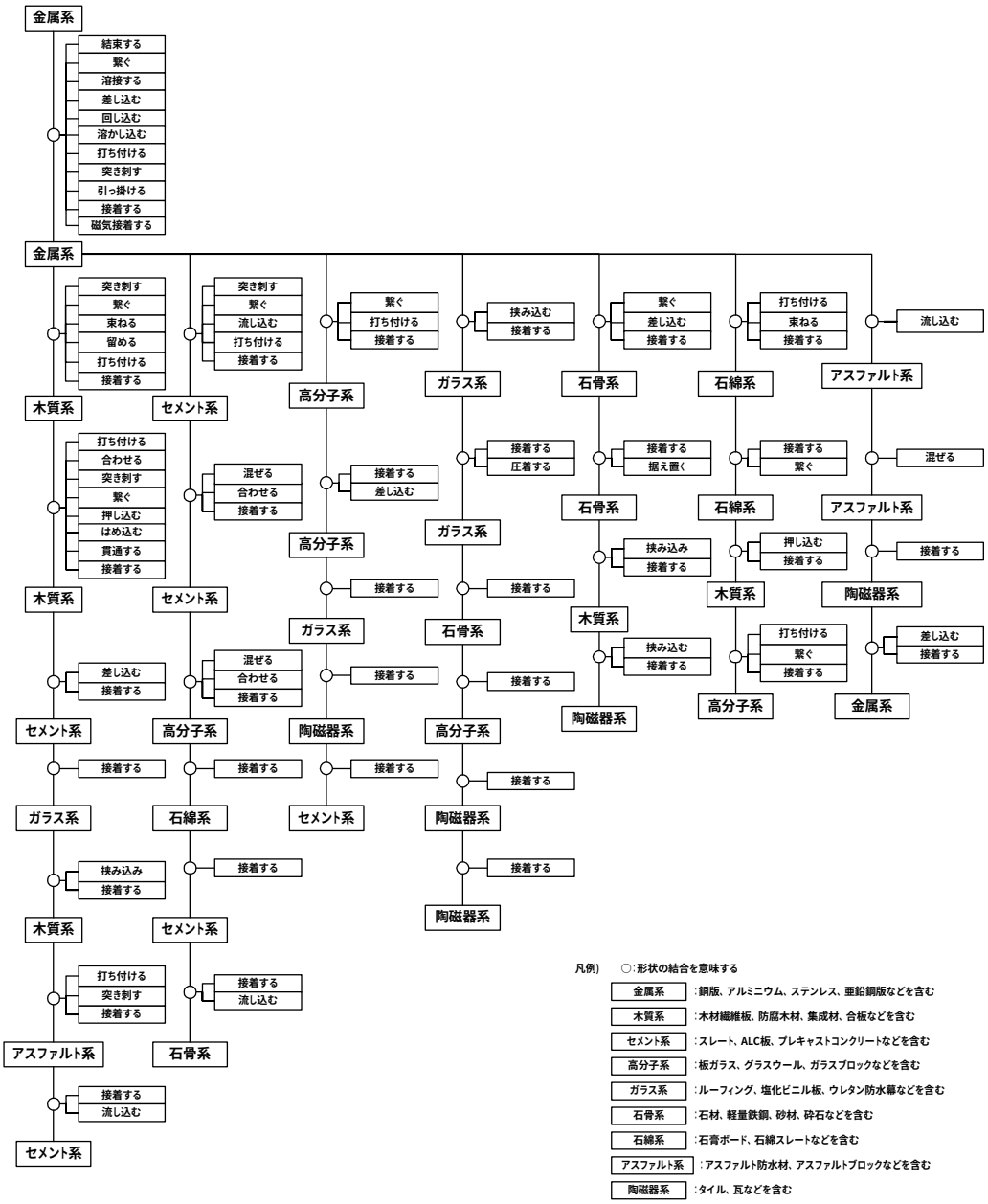



図.2.2.7 材質の結合形式に対応した作業事例の一覧

E.構文に対する類似構文の検索

作業の機能を表現する構文を、その内容に類似する類似構文で表現する。構文において使用されている名詞及び動詞が持つ内容に基づき、それに類似する構文を探し出す。そして、作業の機能を検索した類似構文の機能に展開する方法である。展開した類似構文の機能を用いて、それに対応した作業を判断して、作業の発想を行う。

### 2.2.3.鋼製壁下地取付け作業における適用

提案した機能抽出と機能展開の方法を用いた作業の発想の適用を 2.1.3.項における A 工事の鋼製壁下地作業を対象に行った。

**①機能抽出**

A.作業結果に基づく機能抽出

鋼製壁下地取付け作業の単位作業である、「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」を対象として作業結果に基づく機能抽出を行った。機能抽出の結果を図.2.2.8 に示す。図に示す如く、作業条件を達成させる先行の作業は「レーザー光線を用いて寸法を比較する」「墨壷を用いてコンクリート面に墨出しをする」「ランナ材を円鋸を用いて切断する」「ランナ材を手で持って運ぶ」である。

作業結果の状態は、達成させる先行の作業による作業結果の状態として、設置されているレーザー測定器による「映されているレーザー光線」、スラブ面に墨出しによる「記されている墨出し線」、ランナを切断した円鋸による「設置されている円鋸」、円鋸の場所から運搬したランナ材による「置かれているランナ材」及び、作業による作業結果の状態として間仕切りの位置に「取付けられているランナ」である。

抽出した機能は、達成させる先行の作業を含んだ作業に対する機能として「ランナの位置の基準芯墨を計測する」「ランナの位置を記す」「ランナ材の長さの寸法を調整する」「ランナ材の位置を変更する」「ランナ材をスラブに取付ける」である。作業結果の状態に対する抽出した機能は正の機能と負の機能に分類した。例えば「映されているレーザー光線」の場合における正の機能は作業者がレーザー光線を用いて「定規を当てて寸法を測る」であり、負の機能はレーザー光線が「作業者の目に害する」である。

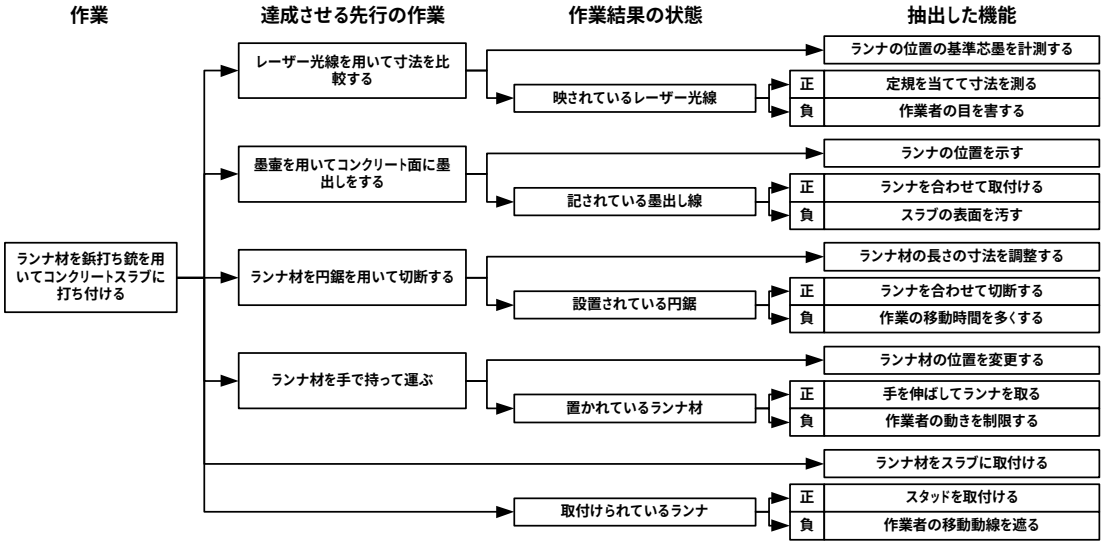



図.2.2.8　「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」の機能抽出

B.付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出

鋼製壁下地取付け作業の単位作業である、「ランナ材を円鋸を用いて切断する」の付随的作業結果である「加工を行う際に発生する騒音」を対象として問題点に基づく機能抽出を行った。機能抽出の結果を図.2.2.9 に示す。図に示す如く、問題点の発生の原因は「円鋸の騒音が隣の病院の患者に聞こえる」「円鋸の騒音が現場の外に漏れる」「円鋸の騒音が発生する」「部材の切断の騒音が発生する」である。各発生の原因を表す文章の動詞の部分を反意語に切り替えて発生しない状態を設定した。

発生しない状態に対する解決のための作業は、例えば「円鋸の騒音が現場の外に漏れないようにする」の場合、「騒音が聞こえない病院に患者を移す」「騒音が聞こえない防音壁を取付ける」である。「騒音が聞こえない病院に患者を移す」に対する抽出した機能は「患者へ騒音の到達を防ぐ」である。また、作業結果の状態である「移されている患者」に対する抽出した機能は、正の機能として騒音が聞こえない病院に移されている患者に「安定した治療をする」であり、負の機能として移された患者によって患者数が増加したため「病院の医療環境を悪くする」である。

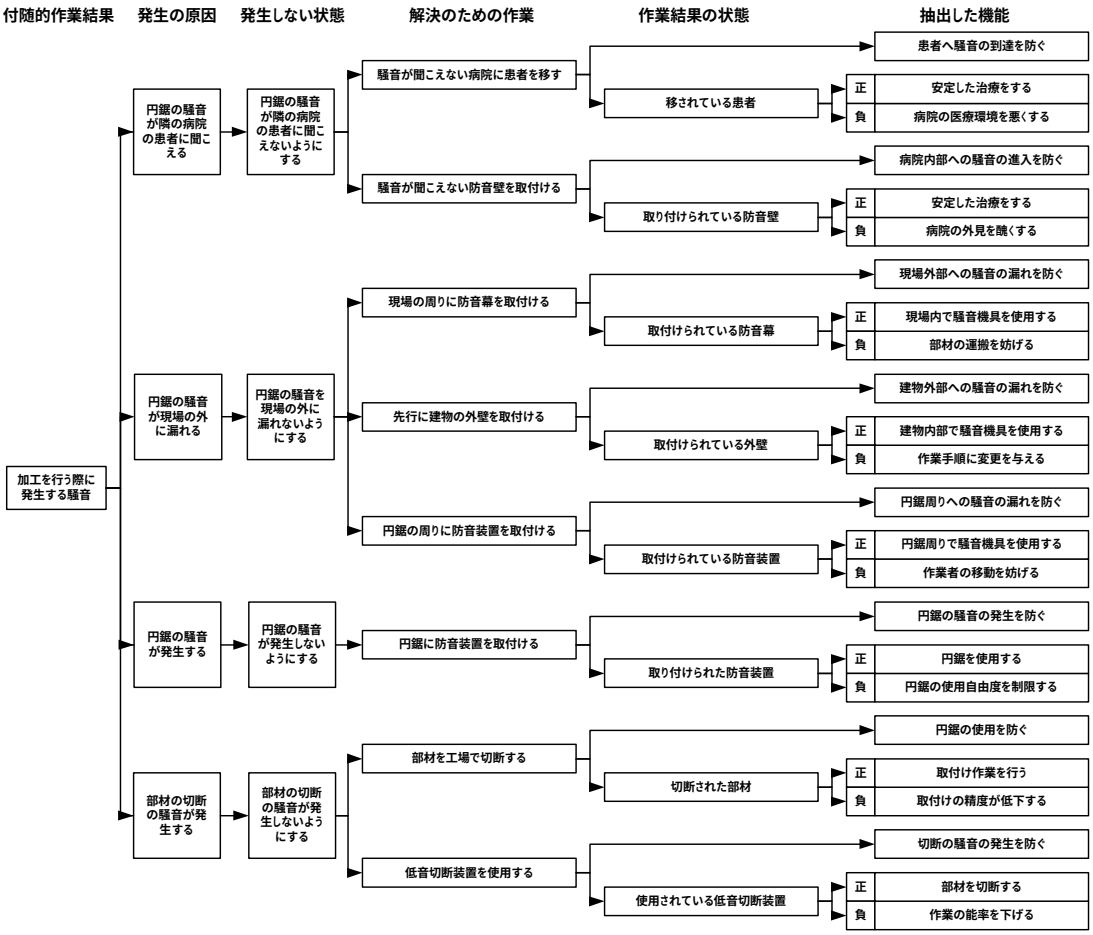



図.2.2.9　「加工を行う際に発生する騒音」の問題点に基づく機能抽出

**②機能展開**

「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」作業から抽出した「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開と作業方法の発想の結果を以下の項目に記す。

A. 作業に対する上位機能の追求

「ランナ材をスラブに取付ける」の目的は、スタッドをランナに固定するために必要であり、その目的はスタッドをスラブに固定するために必要である。また、固定したスタッドの目的は石膏ボードを固定するために必要であり、石膏ボードの目的は部屋の音や視界を遮るために必要である。図.2.2.10 には「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開の結果と各機能において発想した作業を示す。

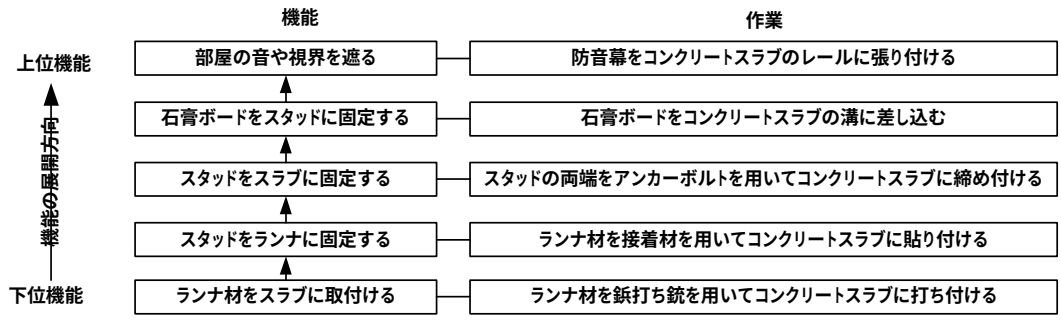



図.2.2.10　「ランナ材をスラブに取付ける」の作業に対する上位機能の追求

B. 表現文に対する上位機能の追求

「ランナ材をスラブに取付ける」におけるランナ材とスラブを軽鉄板とコンクリートの広範囲に展開した「軽鉄板をコンクリート面に取付ける」の機能から「コンクリート面に金属片を埋め込み、軽鉄板を溶接する」の作業を発想した。さらに、広範囲の「金属部材をコンクリート部位に固定する」の機能に展開し、「コンクリート部位に磁気を持たせてランナ材を張り付ける」の作業を発想した。さらに、広範囲の「硬性部材と硬性部位を結合する」の機能に展開し、「コンクリート面に溝を作り、ランナ材を差し込む」の作業を発想した。図.2.2.11 には「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開の結果と各機能において発想した作業を示す。

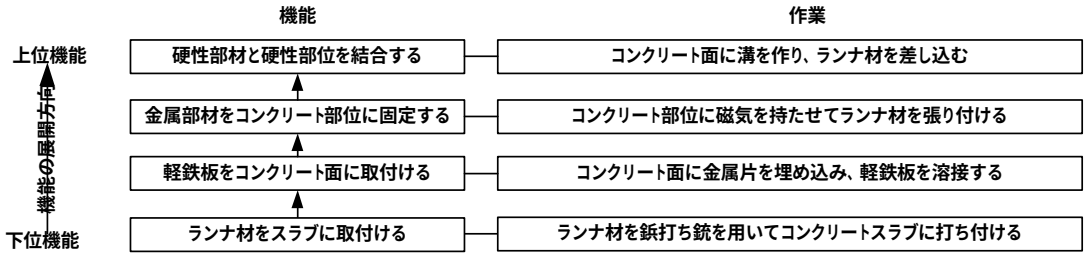



図.2.2.11　「ランナ材をスラブに取付ける」の表現文に対する上位機能の追求

C. 部材に対する形状の抽象化

「ランナ材をスラブに取付ける」の部材に対する形状の抽象化を行い、ランナ材は線状部材とし、スラブは面上部材として「線状部材を面状部材に隣接させる」の上位機能に展開を行った。前項の図.2.2.6 を参照すると、線状と面状を隣接させる結合方法は「接着剤で接着する」「磁気で接着する」「溶剤で接着する」「引っ掛け」「打ち付け」「介物で通し繋ぐ」である。参照した各結合方法を用いて作業の発想を行う。例えば、「接着剤で接着する」を用いて発想した作業は「ランナ材に接着材を塗ってコンクリートスラブに張り付ける」である。図.2.2.12 には「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開の結果と各機能において発想した作業を示す。

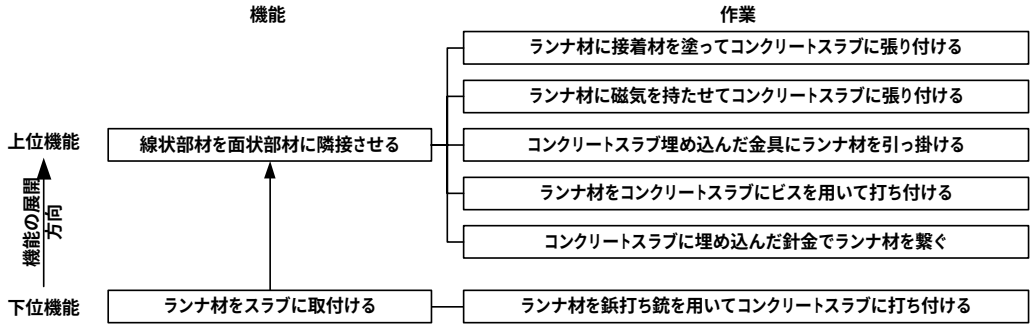



図.2.2.12　「ランナ材をスラブに取付ける」の部材に対する形状の抽象化

D. 部材に対する材質の抽象化

「ランナ材をスラブに取付ける」の部材に対する材質の抽象化を行い、ランナ材は金属系部材とし、スラブはセメント系部材として「金属系部材をセメント系部材に結合させる」の上位機能に展開を行った。前項の図.2.2.7 を参照すると、金属系とセメント系の結合方法は「突き刺す」「繋ぐ」「流し込む」「打ち付ける」「接着する」である。参照した各結合方法を用いて作業の発想を行う。「繋ぐ」を用いて発想した作業は「コンクリートスラブに埋め込んだアンカーボルトでランナ材を繋ぐ」である。図.2.2.13 には「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開の結果と各機能において発想した作業を示す。

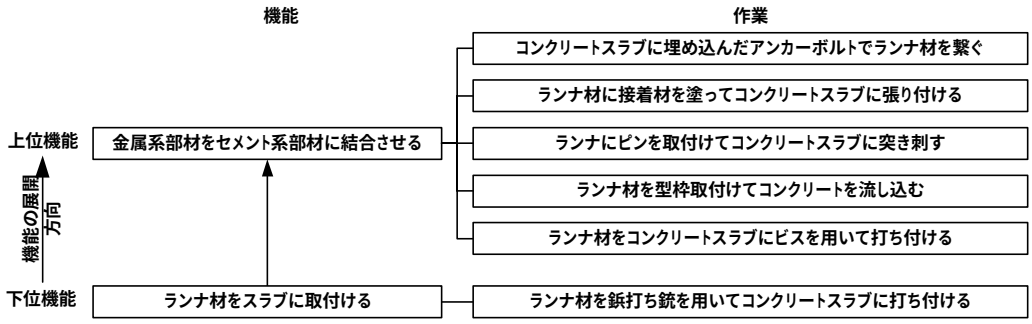



図.2.2.13　「ランナ材をスラブに取付ける」の部材に対する材質の抽象化

E. 構文に対する類似構文の検索

「ランナ材をスラブに取付ける」の構文に対する類似構文として、ランナの形状である細長い部材を面に取付ける機能を持つ「大引を柱に取付ける」「巾木を壁に取付ける」「ノンスリップを階段に取付ける」「方立てを壁に取付ける」「伸縮目地をスラブに取付ける」「カーテンレールを窓枠に取付ける」を採り上げた。採り上げた各機能に基づいて作業の発想を行った。例えば、「大引きを柱に取付ける」における作業として「コンクリートスラブに空けた穴にボルトを通してランナ材を締め付ける」を発想した。図.2.2.14 には「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開の結果と各機能において発想した作業を示す。

図.2.2.14 「ランナ材をスラブに取付ける」の構文に対する類似構文の検索

2.2.4.**結**

作業に対する作業方法の代替案を発想するための方法の必要性について述べた。作業を、それが果たすべき目的である「機能」として捉え、その機能を抽出する方法として、作業結果に基づく機能抽出を提案し、その手順と表現方法を示した。(図.2.2.1、図.2.2.2 参照)また、付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出を提案し、その手順と表現方法を示した。(図.2.2.3、図.2.2.4 参照)

抽出した機能から作業方法の代替案を発想するための上位機能への展開方法として、機能の目的を追求する「作業に対する上位機能の追求」、構文の意味を追求する「表現文に対する上位機能の追求」、関連する部材あるいは部位の形状を抽象化する「部材に対する形状の抽象化」、関連する部材の材質を抽象化する「部材に対する材質の抽象化」、構文に関連する類似する機能を採り上げる「構文に対する類似構文の検索」の 5 つの方法を提案し、その内容を示した。「部材に対する形状の抽象化」の方法は形状の結合形式ごとに参照する作業事例の一覧を示した。(図.2.2.5、図.2.2.6 参照) また、「部材に対する材質の抽象化」の方法は材質の結合形式ごとに参照する作業事例の一覧を示した。(図.2.2.7 参照)

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業における「ランナ材を鋲

打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」を対象として作業結果に基づく機能抽出を行った。その結果、作業結果の状態から「正の機能」と「負の機能」を抽出できることを確認した。(図.2.2.8 参照) また、「ランナ材を円鋸を用いて切断する」の付随的作業結果である「加工を行う際に発生する騒音」を対象として問題点に基づく機能抽出を行った。その結果、発生の原因を発生しない状態にする作業の作業結果の状態から「正の機能」と「負の機能」を抽出できることを確認した。(図.2.2.9 参照)

「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」作業から抽出した「ランナ材をスラブに取付ける」の機能展開と作業方法の発想を行い、その結果を示した。

① 作業に対する上位機能の追求：5 段階の上位機能に展開を行い、各段階の作業を発想した。(図.2.2.10 参照)

② 表現文に対する上位機能の追求： 4 段階の上位機能に展開を行い、各段階の作業を発想した。(図.2.2.11 参照)

③ 部材に対する形状の抽象化：「線状部材」と「面状部材」の結合における作業を参照して、5 つの作業を発想した。(図.2.2.12 参照)

④ 部材に対する材質の抽象化：「金属系部材」と「セメント系部材」の結合における方法を参照して、5 つの作業を発想した。(図.2.2.13 参照)

⑤ 構文に対する類似構文の検索：類似する 6 つ作業の機能を採り上げ、各機能に対する作業を発想した。(図.2.2.14 参照)

以上の検討の結果、作業の目的を達成するための新たな作業方法の代替案を発想する支援方法において、提案した方法は有効であることを確認した。また、機能を抽象化することによって広い範囲における発想が容易に出来ることを確認し、発想した結果の事例から上位機能における作業がより革新的なものであることを明らかにした。

## 2.3.一対比較を用いた作業方法の選択

### 2.3.1.作業プロセスにおける一対比較

作業における機能抽出と機能展開によって発想した作業方法の代替案は作業条件によって評価の尺度が異なる。計画者が経験に頼って代替案を選択する場合は、選択した作業方法が「生産性は向上するが安全性が低下する」、「安全性は向上するが適合性が低下する」「適合生と安全性は向上するが生産性が低下する」など、経験と知識の偏りによって問題が発生する危険がある。そのような危険を減らし、作業方法の選択を最適に行うためには、考慮すべき全ての項目に対して総合的な評価を行う必要がある。

本研究では、一対比較からなる個別の評価項目に対する各代替案の重要度を用いて作業方法を選択するための方法を適用し、その有用性の検討を目的とする。

作業計画者の作業方法の選択において経験にたよる従来の方法に対して一対比較を用いる場合の特徴を以下の項目に記す。

① 計画者が考慮すべき項目を構造的に示す

② 選択の基準になる方法間の評価尺度を定量的に示す

③ 作業に対する知識が少ない場合、複数の経験者の評価結果を参考にする

### 2.3.2.AHP 手法を用いた一対比較の方法

作業方法の選択の支援に用いる AHP（Analytic Hierarchy Process）手法[64]は選択の対象となる問題を最終目的、評価項目、代替案のレベルに捉えて階層構造化し、最終目的に対する評価項目の重要度、評価項目に対する代替案の重要度を一対比較からなる比較行列を用いて求めて、最終目的に対する各代替案の評価を行う手法である。AHP 法における階層構造の概念は図.2.3.1 に示す如く、階層のレベル 1 の最終目的に対して、それの評価に用いる項目を階層のレベル 2 とする。レベル 2 の項目は階層のレベル 3 の細目に再分割して比較を行うことによって計画者の判断を明確にすることができる。階層の代替案は最終目的を達成するための方法の代替案であり、各評価項目に対する重要度の数値の合計が最大である代替案を選択する。

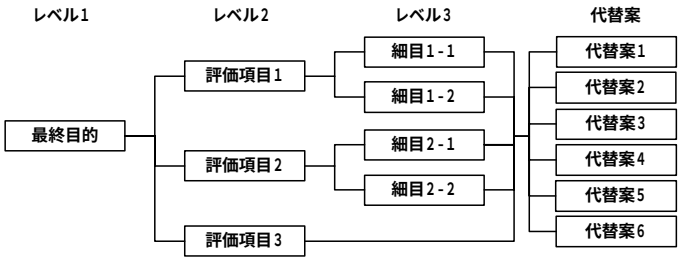



図.2.3.1 AHP 法における階層構造の概念

AHP 手法を用いた作業方法選択の手順を図.2.3.2 に示す。図に示す如く、作業方法の選択の対象とする作業を最終目的として決める。代替案は 2.2.項における機能定義と機能展開から発想した作業方法とする。作業方法を選択するための評価項目はレベルごとに決め、一対比較のための階層構造を作成する。作成した階層構造を用いて、レベルごとに上位レベルに対する一対比較を行い、各レベルにおける重要度を算出する。算出した各レベルの重要度から最終目的に対する代替案の重要度を算出する。算出した重要度が最大である代替案を実行する作業方法として選択する。

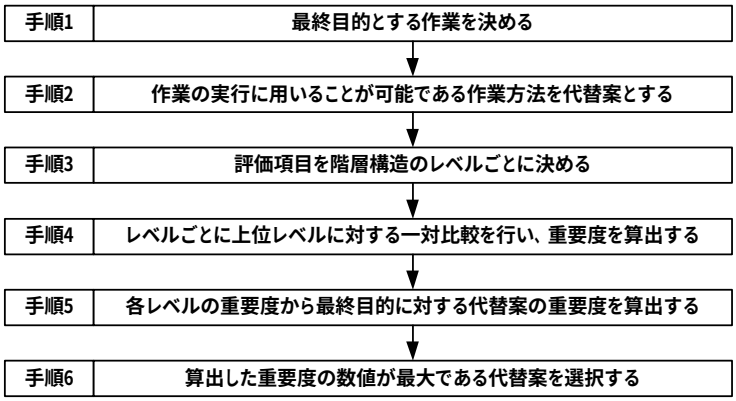



図.2.3.2.　AHP 手法を用いた作業方法選択の手順

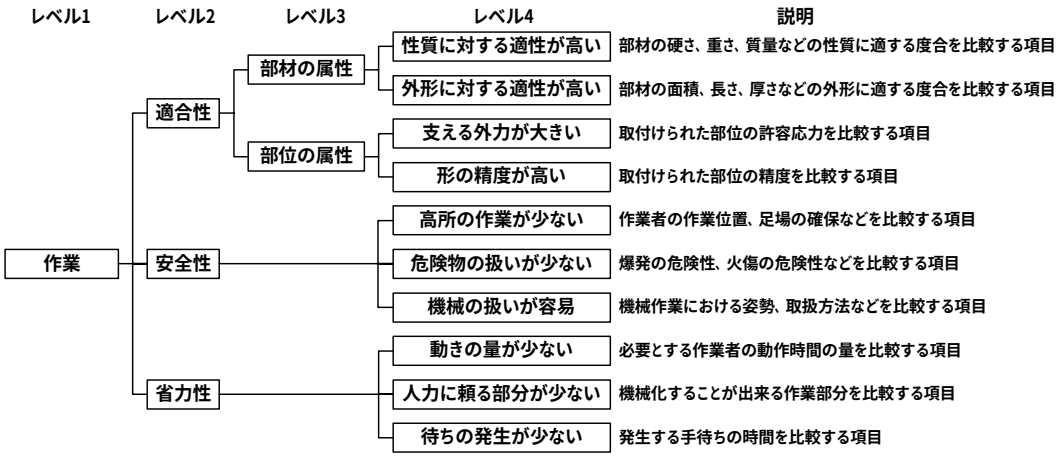



図.2.3.3　評価項目の内容

選択に用いる評価項目の内容を図.2.3.3.に示す。図に示す如く、最終目的をレベル 1 とし、レベル 2 からレベル 4 までの評価項目を定義した。最終目的の作業を実行する作業方法の選択において評価する項目として、レベル 2 の評価項目は適合性、安全性、省力性とした。適合性は、さらにレベル 3 において部材の属性と部位の属性とした。部材の属性は性質である硬さ、重さ、質量に対する適合性と外形である面積、長さ、厚さなどに対する

適合性の度合いとした。部位の属性は支える外力の大きさである部位の許容応力に対する適合性と形の精度の高さである部位の取付け精度に対する適合性の度合いとした。安全性は、作業の位置と足場の確保などの高所作業に対する安全性と爆発、火傷などの危険物の扱いに対する安全性と姿勢、取り扱い方法などの機械の取り扱いに対する安全性の度合いとした。省力性は、作業者の動作に対する省力性と機械化による人力に頼る部分の省力性と待ち時間の発生に対する省力性の度合いとした。

### 2.3.3.鋼製壁下地取付け作業における適用

提案した作業方法の選択方法の適用を検討するために 2.1.3 項の A 工事の鋼製壁下地取付け作業における「ランナ取付け」と「スタッド取付け」および、「振れ止め取付け」を対象に作業方法の選択を行った。項目間の比較に用いた重要度の尺度は表.2.3.1 に示す如く、1 から 9 までを 5 段階に分類して用いた。本適用事例における各項目の一対比較の評価は筆者が文献ならび、調査に基づいて行った。

表.2.3.1　一対比較に用いた評価の尺度 [72)]

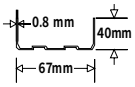
| 重要度の尺度 | 定義 |
|---|---|
| 1 | 同程度 |
| 3 | やや重要 |
| 5 | 重要 |
| 7 | 非常に重要 |
| 9 | 絶対的に重要 |

注)重要度の尺度はThomas L. Saatyが提案した数値を用いる(参照文献72のDeriving the AHP 1-9 scale from first principlesから引用)

#### ①ランナ取付け

ランナ取付けを採りあげ、評価項目と代替案の重要度の算出を行い、算出結果から作業方法の選択を行った。ランナ取付けの作業条件は表.2.3.2 に示す如く、取付け部位であるコンクリート躯体に関する情報､手を動いて作業が可能な範囲における作業者の位置情報、部材の属性の情報である｡ランナ取付けの評価項目と代替案の階層構造を図.2.3.4 に示す。作業方法の代替案は 9 個とした。

表.2.3.2　ランナの取付けの作業条件

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 情報 | 躯体の属性:平らであるコンクリート躯体<br>部位の位置:床の上における間仕切り壁の位置 |
| 作業者 | 位置:手がランナの位置に届く範囲 |
| 部材 |  材質:溶融亜鉛めっき鋼<br>単位重:0.928kg/m |

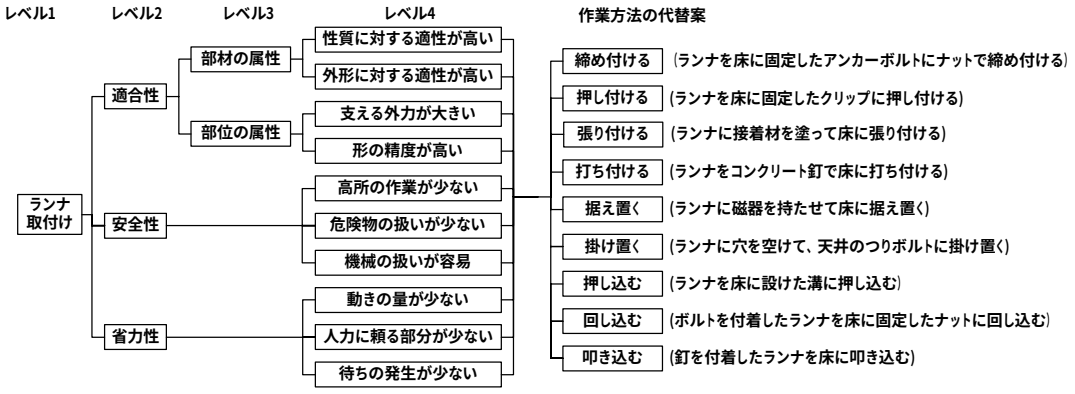



図.2.3.4　ランナ取付けの評価項目と作業方法の代替案

評価項目間の一対比較は最終目的をランナ取付けとして各レベルに対して行った。評価項目のレベル 2 における「ランナ取付け」に対する重要度の算出結果は、表.2.3.3 に示す如く、「適合性」は「安全性」に比較してやや重要であり、「安全性」は「省力性」に比較して同程度であり、「適合性」は「省力性」に比較してやや重要である。各項目の一対比較の結果から算出した重要度は、レベル 2 では「適合性」が 0.600 と重要である。

評価項目のレベル 3 における「適合性」に対する重要度の算出結果は、表.2.3.4 に示す如く、「部位の属性」が「部材の属性」に比較してやや重要である結果から算出した重要度は、適合性においてレベル 3 の「部位の属性」が 0.750 と重要である。

評価項目のレベル 4 における「部材の属性」に対する重要度の算出結果は、表.2.3.5 に示す如く、「性質に対する適性が高い」が「外形に対する適性が高い」に比較して重要である結果から算出した重要度は、「部材の属性」において「性質に対する適性が高い」が 0.833 と重要である。

評価項目のレベル 4 における「部位の属性」に対する重要度の算出結果は、表.2.3.6 に示す如く、「支える外力が大きい」が「形の精度が高い」に比較してやや重要である結果から算出した重要度は、「部位の属性」において「支える外力が大きい」が 0.750 と重要である。

評価項目のレベル 4 における「安全性」に対する重要度の算出結果は、表.2.3.7 に示す如く、「危険物の扱いが少ない」と「高所作業が少ない」は同程度であり、「機械の扱いが容易」は「高所作業が少ない」に比較して重要であり、「機械の扱いが容易」は「高所作業が少ない」に比較して重要である。その結果から算出した重要度は、「安全性」において「機械の扱いが容易」が 0.714 と重要である。

評価項目のレベル 4 における「省力性」に対する重要度の算出結果は、表.2.3.8 に示す如く、「動きの量が少ない」は「人力に頼る部分が少ない」に比較してやや重要であり、「人力に頼る部分が少ない」は「待ちの発生が少ない」に比較してやや重要であり、「動きの量が少な

い」は「待ちの発生が少ない」に比較して非常に重要である。その結果から算出した重要度は、「省力性」において「動きの量が少ない」が 0.669 と重要である。

作業方法の代替案における「性質に対する適正が高い」対する重要度の算出結果は、表.2.3.9 に示す如く、算出した重要度は「性質に対する適性が高い」において「締め付ける」が 0.276 と重要である。表 2.3.10～表.2.3.18 は、作業方法の代替案におけるレベル 4 の各項目に対する重要度を示す。

評価項目の各レベルの重要度を用いて、最終目的である「ランナ取付け」に対する代替案の重要度を算出した結果を表.2.3.19 に示す。「ランナ取付け」に対する作業方法の選択結果は、図.2.3.5 に如く、重要度が 0.170 と最も高い「締め付ける」である。

調査を行った現場では図.2.3.6 に示す如く、鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち込むを作業方法として用いた。選択の結果が部位の属性に対する適合性を重要としてコンクリート床に設置したボルトに締め付ける方法を選択したことに対して、調査した現場では省力性を重要視する鋲打ち銃を用いた取付けの方法を採用した

表.2.3.3　評価項目のレベル 2 における「ランナ取付け」に対する重要度

| | 適合性 | 安全性 | 省力性 | 重要度 |
|---|---|---|---|---|
| 適合性 | 1 | 3 | 3 | 0.600 |
| 安全性 | 1/3 | 1 | 1 | 0.200 |
| 省力性 | 1/3 | 1 | 1 | 0.200 |
| CI：0.00(注1) | | | | |

注)重要度の計算過程[64] (The Analytic Hierarchy Processから引用)

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | ・・・・ | $C_n$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $C_1$ | 1 | $a_{12}$ | $a_{13}$ | ・・・・ | $a_{1n}$ |
| $C_2$ | $1/a_{21}$ | 1 | $a_{23}$ | ・・・・ | $a_{2n}$ |
| $C_3$ | $1/a_{31}$ | $1/a_{32}$ | 1 | ・・・・ | $a_{3n}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ・・・・ | ⋮ |
| $C_n$ | $1/a_{n1}$ | $1/a_{n2}$ | $1/a_{n3}$ | ・・・・ | 1 |

$$A=\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$(C_1,C_2,C_3,\cdots,C_n)$：評価項目

$a_{ij}$：評価項目$C_i$の評価項目$C_j$に対する評価の尺度
ただし、aii=1,aji=1/aijと仮定する
(i,j=1,2,3,・・・・,n)
A：評価の尺度aijのn×n行列

$w=(w_1,w_2,w_3,\cdots,w_n)$　　w：評価項目の重要度

$w_i/w_j=a_{ij}$

$$A=\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \cdots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 & \cdots & w_3/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \qquad A\times w=\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \cdots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 & \cdots & w_3/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix}\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}=n\times w$$

$n=\lambda_{max}$　　$\lambda_{max}$=0ではない唯一の行列Aの固有値

以上から重要度wはλmaxに対する固有ベクトルである。

表.2.3.4　評価項目のレベル 3 における「適合性」に対する重要度

| | 部材の属性 | 部位の属性 | 重要度 |
|---|---|---|---|
| 部材の属性 | 1 | 1/3 | 0.250 |
| 部位の属性 | 3 | 1 | 0.750 |
| CI:0.00 (注1) | | | |

表.2.3.5　評価項目のレベル 4 における「部材の属性」に対する重要度

| | 性質に対する適性が高い | 外形に対する適性が高い | 重要度 |
|---|---|---|---|
| 性質に対する適性が高い | 1 | 5 | 0.833 |
| 外形に対する適性が高い | 1/5 | 1 | 0.167 |
| CI：0.00(注1) | | | |

表.2.3.6　評価項目のレベル 4 における「部位の属性」に対する重要度

| | 支える外力が大きい | 形の精度が高い | 重要度 |
|---|---|---|---|
| 支える外力が大きい | 1 | 3 | 0.750 |
| 形の精度が高い | 1/3 | 1 | 0.250 |
| CI：0.00(注1) | | | |

表.2.3.7　評価項目のレベル 4 における「安全性」に対する重要度

| | 高所作業が少ない | 危険物の扱いが少ない | 機械の扱いが容易 | 重要度 |
|---|---|---|---|---|
| 高所作業が少ない | 1 | 1 | 1/5 | 0.143 |
| 危険物の扱いが少ない | 1 | 1 | 1/5 | 0.143 |
| 機械の扱いが容易 | 5 | 5 | 1 | 0.714 |
| CI：0.00(注1) | | | | |

表.2.3.8　評価項目のレベル 4 における「省力性」に対する重要度

| | 動きの量が少ない | 人力に頼る部分が少ない | 待ちの発生が少ない | 重要度 |
|---|---|---|---|---|
| 動きの量が少ない | 1 | 3 | 7 | 0.669 |
| 人力に頼る部分が少ない | 1/3 | 1 | 3 | 0.243 |
| 待ちの発生が少ない | 1/7 | 1/3 | 1 | 0.088 |
| CI：0.01(注1) | | | | |

表.2.3.9　作業方法の代替案における「性質に対する適正が高い」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 3 | 5 | 1 | 7 | 7 | 3 | 3 | 5 | 0.276 |
| 押し付ける | 1/3 | 1 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0.084 |
| 張り付ける | 1/5 | 1 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0.080 |
| 打ち付ける | 1 | 3 | 3 | 1 | 9 | 9 | 3 | 3 | 3 | 0.253 |
| 据え置く | 1/7 | 1/3 | 5 | 1/9 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 0.029 |
| 掛け置く | 1/7 | 1/3 | 5 | 1/9 | 1 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 0.029 |
| 押し込む | 1/3 | 1 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0.084 |
| 回し込む | 1/3 | 1 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0.084 |
| 叩き込む | 1/5 | 1 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0.080 |
| CI：0.01(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.10　作業方法の代替案における「外形に対する適正が高い」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 0.093 |
| 押し付ける | 3 | 1 | 1 | 1 | 7 | 9 | 7 | 9 | 7 | 0.234 |
| 張り付ける | 5 | 1 | 1 | 1 | 7 | 9 | 7 | 9 | 7 | 0.253 |
| 打ち付ける | 5 | 1 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 0.268 |
| 据え置く | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.024 |
| 掛け置く | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0.041 |
| 押し込む | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.024 |
| 回し込む | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0.041 |
| 叩き込む | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.024 |
| CI:0.06(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.11　作業方法の代替案における「支える外力が大きい」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 3 | 5 | 3 | 9 | 5 | 3 | 1 | 3 | 0.246 |
| 押し付ける | 1/3 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.099 |
| 張り付ける | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1 | 0.045 |
| 打ち付ける | 1/3 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.099 |
| 据え置く | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 0.020 |
| 掛け置く | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1 | 0.045 |
| 押し込む | 1/3 | 1 | 3 | 1 | 7 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 0.104 |
| 回し込む | 1 | 3 | 7 | 3 | 9 | 7 | 3 | 1 | 3 | 0.266 |
| 叩き込む | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1 | 0.076 |
| CI:0.02(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.12　作業方法の代替案における「形の精度が高い」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 3 | 1 | 5 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 0.266 |
| 押し付ける | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 0.127 |
| 張り付ける | 1 | 3 | 1 | 5 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 0.266 |
| 打ち付ける | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 0.055 |
| 据え置く | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 0.025 |
| 掛け置く | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 0.025 |
| 押し込む | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 0.127 |
| 回し込む | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 0.055 |
| 叩き込む | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 0.055 |
| CI:0.02(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.13　作業方法の代替案における「高所の作業が少ない」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 3 | 0.043 |
| 押し付ける | 3 | 1 | 5 | 5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 5 | 0.088 |
| 張り付ける | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0.021 |
| 打ち付ける | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0.021 |
| 据え置く | 7 | 5 | 9 | 9 | 1 | 3 | 7 | 7 | 9 | 0.379 |
| 掛け置く | 5 | 3 | 7 | 7 | 1/3 | 1 | 3 | 7 | 7 | 0.216 |
| 押し込む | 3 | 1 | 5 | 5 | 1/7 | 1/3 | 1 | 9 | 5 | 0.142 |
| 回し込む | 3 | 1 | 5 | 5 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1 | 5 | 0.070 |
| 叩き込む | 1/3 | 1/5 | 1 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0.021 |
| CI:0.09(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.14　作業方法の代替案における「危険物の扱いが少ない」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 1/3 | 5 | 5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 0.052 |
| 押し付ける | 3 | 1 | 7 | 7 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0.119 |
| 張り付ける | 1/5 | 1/7 | 1 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 0.017 |
| 打ち付ける | 1/5 | 1/7 | 1 | 1 | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 0.017 |
| 据え置く | 5 | 3 | 9 | 9 | 1 | 3 | 5 | 5 | 7 | 0.331 |
| 掛け置く | 3 | 1 | 7 | 7 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 0.200 |
| 押し込む | 3 | 1 | 7 | 7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 0.129 |
| 回し込む | 3 | 1 | 7 | 7 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 0.090 |
| 叩き込む | 1 | 1/3 | 5 | 5 | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0.044 |
| CI:0.07(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.15　作業方法の代替案における「機械の扱いが容易」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0.026 |
| 押し付ける | 7 | 1 | 3 | 7 | 1 | 3 | 3 | 5 | 7 | 0.254 |
| 張り付ける | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 0.117 |
| 打ち付ける | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0.025 |
| 据え置く | 7 | 1 | 3 | 7 | 1 | 3 | 5 | 5 | 7 | 0.270 |
| 掛け置く | 5 | 1/3 | 1 | 7 | 1/3 | 1 | 3 | 3 | 5 | 0.138 |
| 押し込む | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 0.077 |
| 回し込む | 3 | 1/5 | 1/3 | 3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 0.061 |
| 叩き込む | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 0.032 |
| CI:0.04(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.16　作業方法の代替案における「動きの量が少ない」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 0.025 |
| 押し付ける | 5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0.143 |
| 張り付ける | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0.054 |
| 打ち付ける | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 | 0.054 |
| 据え置く | 7 | 3 | 5 | 5 | 1 | 3 | 3 | 5 | 5 | 0.314 |
| 掛け置く | 5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0.143 |
| 押し込む | 5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 0.154 |
| 回し込む | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 3 | 0.065 |
| 叩き込む | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0.048 |
| CI:0.02(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.17　作業方法の代替案における「人力に頼る部分が少ない」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 5 | 7 | 1/3 | 3 | 3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 0.113 |
| 押し付ける | 1/5 | 1 | 3 | 1/7 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/3 | 0.026 |
| 張り付ける | 1/7 | 1/3 | 1 | 1/9 | 1/5 | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/5 | 0.016 |
| 打ち付ける | 3 | 7 | 9 | 1 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 | 0.229 |
| 据え置く | 1/3 | 3 | 5 | 1/5 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0.053 |
| 掛け置く | 1/3 | 3 | 5 | 1/5 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0.053 |
| 押し込む | 3 | 7 | 9 | 1 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 | 0.229 |
| 回し込む | 3 | 7 | 9 | 1 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 | 0.229 |
| 叩き込む | 1/3 | 3 | 5 | 1/5 | 1 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 | 0.053 |
| CI:0.03(注1) | | | | | | | | | | |

表.2.3.18　作業方法の代替案における「待ちの発生が少ない」に対する重要度

| | 締め付ける | 押し付ける | 張付ける | 打ち付ける | 据え置く | 掛け置く | 押し込む | 回し込む | 叩き込む | 重要度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 締め付ける | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 0.027 |
| 押し付ける | 5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0.164 |
| 張り付ける | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 1 | 0.062 |
| 打ち付ける | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 1 | 0.062 |
| 据え置く | 7 | 3 | 5 | 5 | 1 | 5 | 3 | 5 | 5 | 0.335 |
| 掛け置く | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 1 | 0.062 |
| 押し込む | 5 | 1 | 3 | 3 | 1/3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0.164 |
| 回し込む | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 1 | 0.062 |
| 叩き込む | 3 | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 1 | 0.062 |
| CI：0.01(注1) | | | | | | | | | | |

(注1) CI:一対比較の各評価項目間の整合度を示す
CI=(λmax－n)/(n-1)　ただし：λmax＝比較行列に対する最大固有値、n＝比較項目の数

表.2.3.19　作業方法の代替案におけるランナ取付けに対する重要度の算出結果

| | ランナ取付け |
|---|---|
| 締め付ける(ランナを床に固定したアンカーボルトにナットで締め付ける) | 0.170 |
| 押し付ける(ランナを床に固定したクリップに押し付ける) | 0.129 |
| 張付ける(ランナに接着材を塗って床に貼り付ける) | 0.089 |
| 打ち付ける(ランナをコンクリート釘で打ちつける) | 0.105 |
| 据え置く(ランナに磁気を持たせて床に据え置く) | 0.114 |
| 掛け置く(ランナに穴を開けて、天井の吊りボルトに掛け置く) | 0.074 |
| 押し込む(ランナを床に設けた溝に押し込む) | 0.113 |
| 回し込む(ボルトを付着したランナを床に固定したナットに回し込む) | 0.146 |
| 叩き込む(釘を付着したランナを床に叩き込む) | 0.059 |

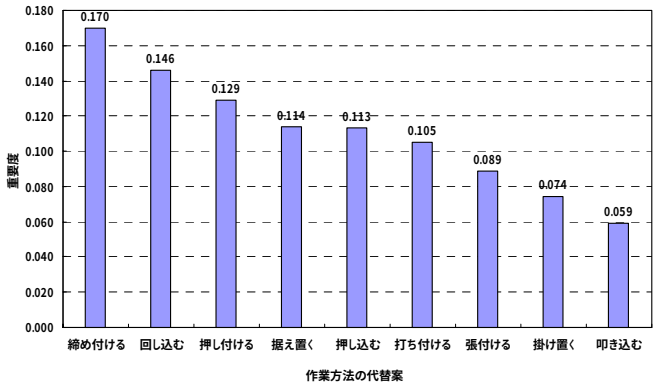



図.2.3.5　作業方法の代替案におけるランナ取付けに対する重要度の分布

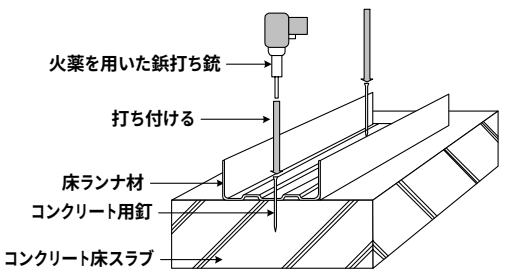


図.2.3.6　調査した現場で行ったランナ取付けの作業方法と写真

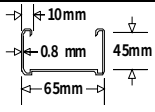
**②スタッド取付け**

スタッド取付けを採りあげ、評価項目と代替案の重要度の算出を行い、算出結果から作業方法の選択を行った。スタッド取付けの作業条件は表.2.3.20 に示す如く、取付け部位であるランナの属性に関する情報､手を動いて作業が可能な範囲における作業者の位置情報、部材の属性の情報である。スタッド取付けの評価項目と代替案の階層構造を図.2.3.7 に示す。作業方法の代替案は「締め付ける」「張り付ける」「押し付ける」「打ち付ける」「据え置く」「掛け置く」「押し込む」「回し込む」「叩き込む」の９個とした。

評価項目のレベル 1 からレベル 4 及び、作業方法の代替案における一対比較を行い、各項目の重要度を算出した。評価項目の各レベルの重要度を用いて、最終目的である「スタッド取付け」に対する代替案の重要度を算出した結果を表.2.3.21 に示す。「スタッド取付け」に対する作業方法の選択結果は、図.2.3.8 に如く、重要度が 0.205 と最も高い「押し込む」である。

調査を行った現場では、図.2.3.9 に示す如く、床と上部ランナにスタッドを押し込む作業方法を採用し、選択の結果と現場で行われた作業方法が一致していることを確認した。

表.2.3.20　スタッド取付けの作業条件

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 情報 | ランナの属性：間仕切り壁の床と上部に取付けられたの鋼製材<br>部位の位置：間仕切り壁の45cm間隔の位置 |
| 作業者 | 位置：手がスタッドの位置に届く範囲 |
| 部材 |  <br>材質:溶融亜鉛めっき鋼<br>単位重量:1.120kg/m |

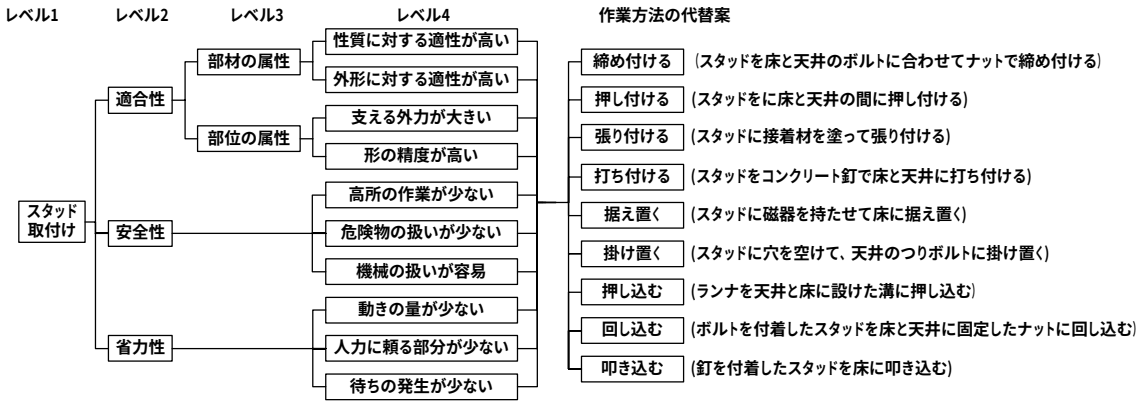



図.2.3.7　スタッド取付けの評価項目と作業方法の代替案

表.2.3.21　スタッド取付けに対する各代替案の重要度の算出結果

| | スタッド取付け |
|---|---|
| 締め付ける(スタッドを床と天井のボルトに合わせて締め付ける) | 0.063 |
| 押し付ける(スタッドを床と天井の間に押し付ける) | 0.144 |
| 張付ける(スタッドに接着剤を塗って張り付ける) | 0.117 |
| 打ち付ける(スタッドをコンクリート釘で床と天井に打ち付ける) | 0.065 |
| 据え置く(スタッドに磁気を持たせて床に据え置く) | 0.198 |
| 掛け置く(スタッドに穴を空けて、天井の吊りボルトに掛け置く) | 0.123 |
| 押し込む(ランナを床と天井に設けた溝に押し込む) | 0.205 |
| 回し込む(ボルトを付着したスタッドを床と天井に固定したナットに回し込む | 0.046 |
| 叩き込む(釘を付着したスタッドを床に叩き込む) | 0.039 |

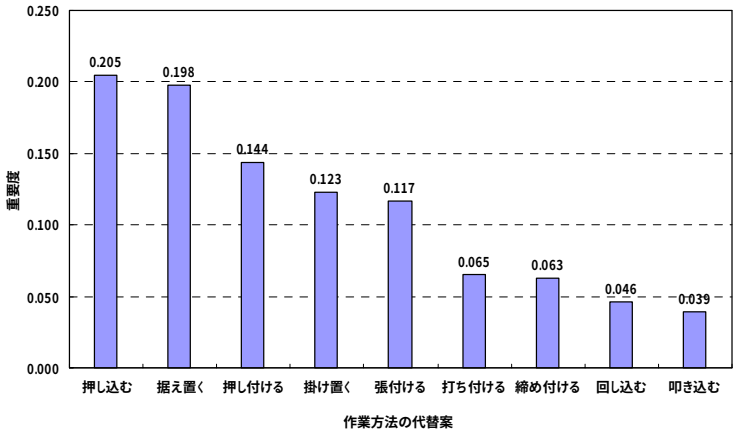



図.2.3.8　作業方法の代替案におけるスタッド取付けに対する重要度の分布

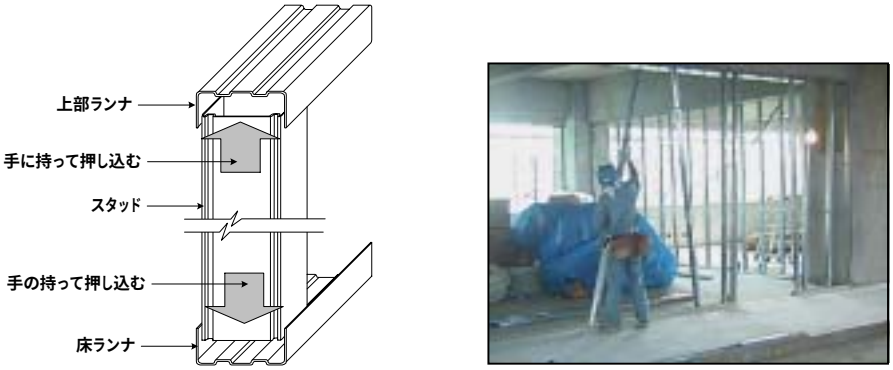



図.2.3.9　調査した現場で行ったスタッド取付けの作業方法

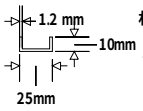
### ③振れ止め取付け

振れ止め取付けを採りあげ、評価項目と代替案の重要度の算出を行い、算出結果から作業方法の選択を行った。スタッド取付けの作業条件は表.2.3.22 に示す如く、取付け部位であるスタッドの属性に関する情報、手を動いて作業が可能な範囲における作業者の位置情報、部材の属性の情報である。振れ止め取付けの評価項目と代替案の階層構造を図.2.3.10 に示す。作業方法の代替案は「締め付ける」「張り付ける」「溶接する」「打ち付ける」「据え置く」「掛け置く」「押し込む」「回し込む」「叩き込む」の９個とした。

評価項目のレベル 1 からレベル 4 及び、作業方法の代替案における一対比較を行い、各項目の重要度を算出した。評価項目の各レベルの重要度を用いて、最終目的である「振れ止め取付け」に対する代替案の重要度を算出した結果を表.2.3.23 に示す。「スタッド取付け」に対する作業方法の選択結果は、図.2.311 に如く、重要度が 0.176 と最も高い「溶接する」である。

調査を行った現場では、図.2.3.12 に示す如く、スタッドの溝に振れ止めをハンマで叩いて押し込む作業方法を用いた。選択の結果が部材の属性を重要として金属であるスタッドに振れ止めを溶接する方法を選択したことに対して、調査した現場では器具の準備に必要な時間を無くして取付けを行う省力性を重要視する方法を採用した。

表.2.3.22　振れ止め取付けの作業条件

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 情報 | スタッドの属性：床と上部ランナに取付けられたの鋼製材<br>部位の位置：床からの高さ1.2mと2.4mの位置 |
| 作業者 | 位置：手が振れ止めの位置に届く範囲 |
| 部材 |  <br>材質:溶融亜鉛めっき鋼<br>単位重量:0.384kｇ/m |

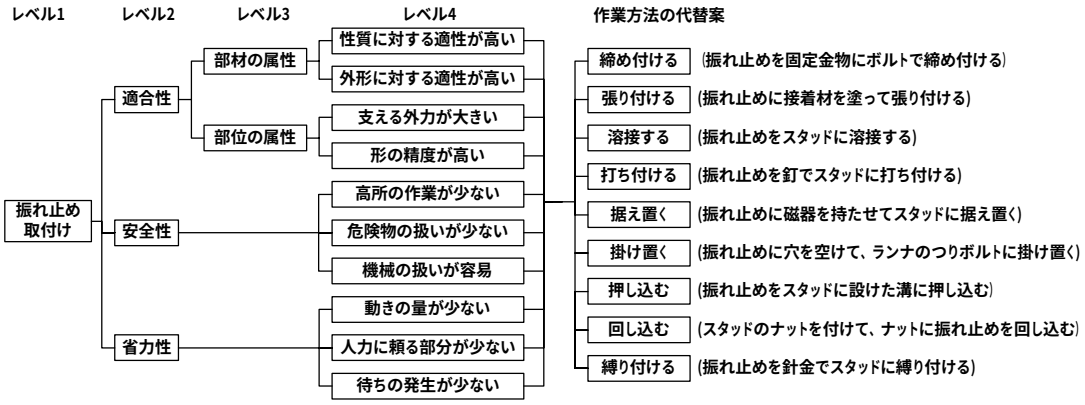



図.2.3.10　振れ止め取付けの評価項目と作業方法の代替案

表.2.3.23　振れ止め取付けに対する各代替案の重要度の算出結果

| | 振れ止め取付け |
|---|---|
| 締め付ける(振れ止めを固定金物にボルトで締め付ける) | 0.127 |
| 張り付ける(振れ止めに接着材を塗って張り付ける) | 0.099 |
| 溶接する(振れ止めをスタッドに溶接する) | 0.176 |
| 打ち付ける(振れ止めを釘でスタッドに打ち付ける) | 0.056 |
| 据え置く(振れ止めに磁気を持たせてスタッドに据え置く) | 0.157 |
| 掛け置く(触れとめに穴を空けて、ランナの吊りると二掛け置く) | 0.081 |
| 押し込む(振れ止めをスタッドに設けた溝に押し込む) | 0.116 |
| 回し込む(スタッドにナットを付けてナットに振れ止めを回し込む) | 0.135 |
| 縛り付ける(振れ止めを針金でスタッドに縛り付ける) | 0.051 |

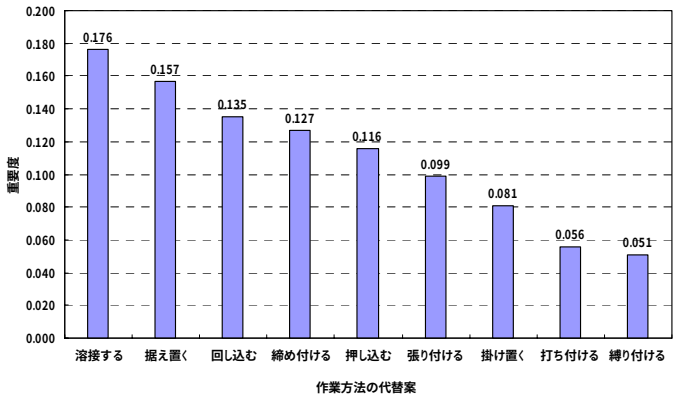



図.2.3.11　作業方法の代替案における振れ止め取付けに対する重要度の分布

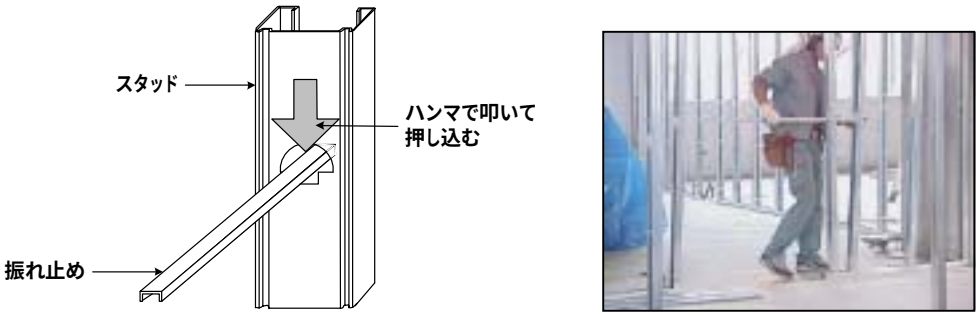



図.2.3.12　調査した現場で行った振れ止め取付けの作業方法

### 2.3.4.結

作業計画における、作業方法の代替案を選択するための方法の必要性について述べた。与えられた条件に最適な作業方法の選択方法として、評価項目を階層構造にして一対比較による総合的な評価を行う方法を提案し、その特徴を述べた。

一対比較を用いる AHP 手法を採りあげ、その階層構造の作成から選択までの手順を示した。(図.2.3.2 参照) また、作業方法の比較の基準となる「適合性」「安全性」「省力性」に関する評価項目を提案した。(図.2.3.3 参照)

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業における実態調査に基づいて「ランナ取付け」の作業方法の代替案と評価項目の階層構造を作成し(図.2.3.4 参照)、各評価項のレベルにおける重要度の計算結果を示した。(表.2.3.3～表.2.3.19 参照)選択した代替案 (図.2.3.5 参照) は「アンカーボルトにナットで締め付ける」であり、実測した作業方法 (図.2.3.6 参照) は「鋲打ち銃を用いて打ち付ける」であった。その結果、選択結果は「適合性」を重視し、実測値は「省力性」を重視していることを確認した。

「スタッド取付け」の作業方法の代替案と評価項目の階層構造を作成し(図.2.3.7 参照)、

選択した代替案（図.2.3.8 参照）は「天井と床の間に押し込む」であった。実測した作業方法（図.2.3.9 参照）と比較した結果、選択結果と実測値は同じく「省力性」を重視していることを確認した。

「振れ止め取付け」の作業方法の代替案と評価項目の階層構造を作成し（図.2.3.10 参照）、選択した代替案（図.2.3.11 参照）は「スタッドに溶接する」であり、実測した作業方法（図.2.3.12 参照）は「ハンマ叩いて押し込む」であった。その結果。選択結果は「部材の属性の適合性」を重視し、「省力性」を重視していることが判った。

以上の検討の結果、提案した方法は、計画者が考慮すべき評価項目を明確にし、作業の実施において重要視する評価項目によって有効に作業方法の選択できることを確認した。また、選択結果と実測した作業の比較によって、計画者が重要視する評価項目の差異によって選択結果が異なることを明らかにした。

## 2.4.結言

A.作業プロセスの作成を用いた作業のモデル化

作業計画における、作業のモデル化の必要性を指摘し、モデルを構成する作業の要素として「作業者」「部材」「部位」「情報」を提案し、その定義を行った。作業における「作業条件」「作業方法」「作業結果」の検討項目によってモデルを作成する考え方を示し、「作業方法」の評価項目と代替案を表現することを提案した。このモデルによって、単位作業の分類項目として移動・運搬・計測・加工・取付け・取外しの順序関係及び、作業方法の評価項目の表現が可能であることを示した。(図.2.1.2 参照)

作業のモデルは以下に示す 3 つの部分によって順序関係を決定することを提案し、それを表現するモデルを提案した。(図.2.1.3 参照)

① 「作業条件の検討」による達成させる先行の作業の設定

② 「作業方法の検討」による作業方法の代替案の選択

③ 「作業結果の検討」による満足させる後行の作業の設定

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業における作業内容の実態調査を行った。(図.2.1.9 参照)

以下に示す単位作業の分類項目における作業のモデルを作成した。

① 「取付け」(図.2.1.10 参照)

② 「加工」(図.2.1.1１参照)

③ 「運搬」(図.2.1.12 参照)

④ 「計測」(図.2.1.13 参照)

⑤ 「移動」(図.2.1.14 参照)

⑥ 「取外し」(図.2.1.15 参照)

以上の検討の結果、提案した方法は、作業を実行するために必要とする作業条件と作業結果を明確にするともに、それによって作業間の順序関係を表現できることを明らかにした。また、作業方法の選定に必要な評価項目と代替案の内容を体系的に表現することを確認した。

B.機能抽出と機能展開を用いた作業方法の発想

作業を機能として捉え、二次機能を抽出する方法として「作業結果に基づく機能抽出」を提案し、その手順を示した。(図.2.2.1、図.2.2.2 参照)また、「付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出」を提案し、その手順を示した。(図.2.2.3、図.2.2.4 参照)

抽出した機能からより広範囲における作業方法の発想のための機能展開を提案し、その

方法として「作業に対する上位機能の追求」「表現文に対する上位機能の追及」「部材に対する形状の抽象化」「部材に対する材質の抽象化」「構文に対する類似構文の検索」の 5 つの方法を提案し、その内容を示した。

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業における実態調査結果に基づいて、「上部ランナを鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」の作業結果に基づく機能抽出を行った。(図.2.2.8 参照) また、「加工を行う際に発生する騒音」の付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出を行った。(図.2.2.9 参照)

抽出した「ランナ材をスラブに取付ける」の機能に対して、以下の項目による機能展開からなる作業の発想を行い、その結果を示した。

① 「作業に対する上位機能の追求」(図.2.2.10 参照)
② 「表現文に対する上位機能の追求」(図.2.2.11 参照)
③ 「部材に対する形状の抽象化」(図.2.2.12 参照)
④ 「部材に対する材質の抽象化」(図.2.2.13 参照)
⑤ 「構文に対する類似構文の検索」(図.2.2.14 参照)

以上の検討の結果、作業の目的を達成するための新たな作業方法の発想支援において、提案した方法は有効であることを確認した。また、機能を抽象化することによって広範囲における発想が容易に出来ることを確認し、発想した結果の事例から上位機能における作業方法がより革新的なものであることを明らかにした。

C.一対比較を用いた作業方法の選択

作業方法の複数の代替案から作業条件に最適な案を選択する方法として、評価項目を階層構造にして一対比較を行う方法の適用を提案し、AHP 手法における階層構造の作成の手順を示した。(図.2.3.2 参照) また、比較に用いる評価項目を提案した。(図.2.3.3 参照)

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業における実態調査に基づいて「ランナ取付け」の作業方法の代替案と評価項目の階層構造を作成し(図.2.3.4 参照)、各評価項目のレベルにおける重要度の計算結果を示した。(表.2.3.3～表.2.3.19 参照)また、選択結果 (図.2.3.5 参照) と実測した作業 (図.2.3.6 参照) を比較した。

「スタッド取付け」の作業方法の代替案と評価項目の階層構造を作成し(図.2.3.7 参照)、選択結果 (図.2.3.8 参照) と実測した作業 (図.2.3.9 参照) を比較した。

「振れ止め取付け」の作業方法の代替案と評価項目の階層構造を作成し(図.2.3.10 参照)、選択結果 (図.2.1.11 参照) と実測した作業 (図.2.3.12 参照) を比較した。

以上の検討の結果、提案した方法は、計画者が考慮すべき評価項目を明確にし、作業の

実施において重要視する評価項目によって有効に作業方法を選択できることを確認した。また、選択結果と実測した作業の比較によって、計画者が重要視する評価項目の差異によって選択結果が異なることを明らかにした。

# 第 3 章　作業時間の推定方法の関する研究

# 第 3 章　作業時間の推定方法に関する研究

## 3.1.作業の実績に基づいた作業時間の推定

### 3.1.1.実績と作業時間の関係

新しい作業方法として開発した「電動工具を用いた作業の機械化」、「部品による作業の単純化」、「接合材による作業の合理化」など施工の実績がない作業方法を用いて作業を行う場合、作業における作業時間への影響を考慮しながら計画を行う必要がある。そのような新たな作業方法を用いた作業計画を行う場合、各種の作業条件の下で作業時間を推定するための方法は不可欠である。

しかしながら、現状の建築作業における作業時間の推定は、実施した作業全体の労務実績の合計である「人工数」「作業時間」「施工量」を単位とした特性値を用いる場合が多い。そのため、作業全体が完成するまでの過程で一部の作業を対象に作業時間の推定を行う場合や、一部の作業の作業時間による作業全体の生産性への影響を捉えて明らかにしたものは少ない。特に、単位作業レベルを対象にした実績データの分析事例は少ない。

従来、建築作業の管理及び、計画に用いる作業の実績から算出する特性値の種類を表.3.1.1 に示す。表に示す如く、各特性値は、対象作業から作業測定した、投入した延べ作業者数である「人工数」、完成した建物の部位の量である「施工量」、作業に要した時間の合計である「作業時間」を使用目的によって組み合わせて算出する。

表.3.1.1　建築作業に用いる特性値と種類 [61)]

| 特性値 | 単位の例 | 使用目的 |
|---|---|---|
| 人工数／単位施工量 | 人・時間／㎡ | 歩掛りとして、必要な労務生産量の推定などに用いる |
| 施工量／単位人工数 | ㎡／時間・人 | 生産性の指標として、作業実績の比較及び評価などに用いる |
| 作業時間／単位施工量 | 時間／㎡ | 作業工程の全体に対する管理資料として、工程管理や、作業費用の算定などに用いる |
| 施工量／単位作業時間 | ㎡／時間 | 作業計画のための基礎資料として、工程計画及び管理、労務計画などに用いる |

注 1)日本建築学会の作業能率測定指針から引用
注 2)施工量を面積で表した場合を示す

作業を測定して収集した作業時間のデータを統計的に分析し、作業内容と作業時間の関係を明らかにするとともに、作業時間の推定のための特性値を定義することは、作業計画において生産性の分析を行うためには不可欠なことである。

そこで、取付けの部位毎の「施工量」と「作業時間」の関係を作業時間の推定に用いる特性値として提案し、その算定方法を示すことを目的とする。

### 3.1.2.特性値の算出を用いた作業時間の推定

作業時間の推定に用いる特性値は、要素作業のレベルで測定して集計した作業時間を、積算して求めた施工量で除して算定する。算定した要素作業の特性値は、合計して単位作業とまとまり作業のレベルの作業時間を推定する。

作業の実測データを用いた作業時間の特性値算出の手順を図.3.1.1 に示す。図に示す如く、手順 1 では、対象の作業の実態調査を行い、作業の条件である、部材の属性、使用する道具、作業方法などを把握する。手順 2 では、実態調査に基づいてまとまり作業を単位作業、要素作業レベルで分割する。分割した各項目の範囲は、作業時間の測定の基準となるため、各レベルに含まれる作業者の作業内容を明確に定義する。

手順 3 では、要素作業のレベルで作業時間とまとまり作業を終了するまで実行した合計回数を測定する。測定する作業時間は、図 3.1.2.の日本建築学会の作業能率測定指針に定義した作業の分類の中で主体作業を対象とする。測定方法は連続時間測定方法を用いる。

手順 4 では、測定した作業時間を要素作業別に合計し、1 回当りの平均値を算出する。手順 5 では、まとまり作業の施工量を積算する。施工量とは、作業の目標とする設計図書に示された各部位を完成させるために､作業者が取付けた部材の数量であり､本方法では、完成した部位の量を積算した結果を施工量として用いる。その測定単位は取付け部位の形状に基づいて、以下の項目の如く決める。

① 長さを単位（m）：ランナ、土台など線状の部材である場合

② 広さを単位（$m^2$）：石膏ボード、床パネルなど面状の部材である場合、

③ 容積を単位（$m^3$）：コンクリート、石材など立方状の部材である場合は

④ 個数を単位（箇所）：建具、階段など部材の結合である場合

手順 6 では、以上で求めた単位作業の 1 回当りの平均作業時間値と施工量を用いて特性値を算出する。特性値は、施工量に対する作業時間値である。

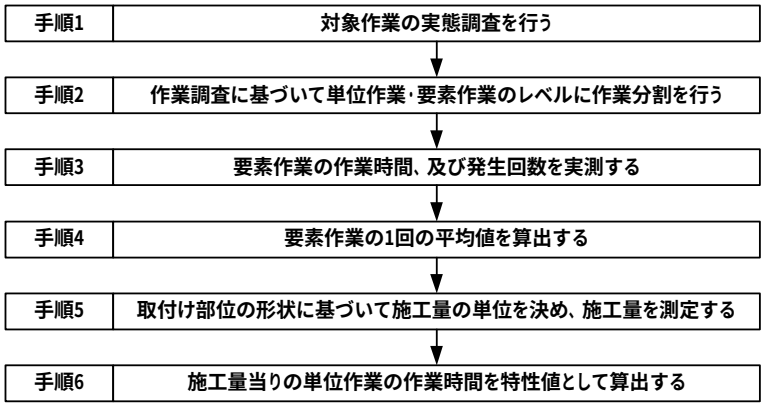



図.3.1.1　作業時間の特性値算出の手順

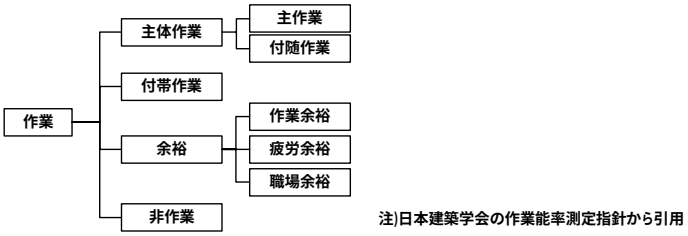



図.3.1.2　作業の分類項目 [61)]

まとまり作業の作業時間の特性値は、それを構成する単位作業の作業時間の特性値を合計して算出する。単位作業の作業時間の特性値は、それを構成する要素作業の作業時間の特性値を合計して算出する。式.3.1.1.はまとまり作業の特性値を示す。式に示す如く、まとまり作業の特性値 $Y$ は、それを構成する単位作業の特性値 $y_i$ の合計である。単位作業の特性値 $y_i$ は、式.3.1.2.示す如く、要素作業の特性値 $x_l$ の合計である。要素作業の特性値 $x_l$ は、式 3.1.3.に示す如く、要素作業の作業時間の合計 $T_l$ を施工量 $A_Y$ で除して算定する。

$$Y = \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad \cdots\cdots \text{（式 .3.1.1.）}$$

$$y_i = \sum_{l=1}^{m} x_l \qquad \cdots\cdots \text{（式 .3.1.2.）}$$

$$x_l = \frac{T_l}{A_Y} \qquad \cdots\cdots \text{（式 .3.1.3.）}$$

Y：施工量に対するまと まり作業の作業時間の 特性値
$y_i$: まとまり作業を構成 する$i$番目の単位作業の施工 量に対する作業時間の 特性値
$x_l$: 単位作業を構成する $l$番目要素作業の施工量 に対するの作業時間の 特性値
$T_l$: 要素作業 $l$の合計作業時間
$A_Y$: まとまり作業 $Y$の合計施工量
$n$：まとまり作業を構成 する単位作業の数
$m$：単位作業を構成する 要素作業の数
$i$：単位作業の実行順番
$l$：要素作業の実行順番

### 3.1.3.鋼製壁下地取付け作業における適用

#### ①作業の概要

実態調査は 2.1.3 項で対象とした A 工事の 5 階における鋼製壁下地取付け作業の一部を対象に行った。作業は 2 階から 4 階の分の取付けを行い、作業に習熟した 2 人作業者が行った。現場調査では、2 人の作業者における全作業の動きを連続してビデオを用いて撮影し、撮影した録画画面を研究室に持ち帰って分析を行った。分析は付帯作業、余裕、非作業を除く、主体作業を対象に作業内容の把握と作業時間の測定を行った。図.3.1.3 には鋼

製壁下地取付け作業の作業内容を示す。

| 単位作業の分類項目 | 作業内容 |
|---|---|
| 移動 | 歩く<br> |
| 運搬 | 手に部材を持って歩く<br> |
| 計測 | メジャーで寸法を測る<br> <br>測った寸法を記入する<br> <br>墨壷で芯墨を打つ<br> <br>レーザー光線を芯墨に合わせる<br> |
| 加工 | 円鋸で部材を切断する<br> <br>スタッドにスペーサを取付ける<br> <br>溶接部位に錆び止めを塗る<br> |
| 取付け | 鋲打ち銃で上部ランナを取付ける<br> <br>鋲打ち銃で床ランナを取付ける<br> <br>手でスタッドをランナに差し込む<br> <br>振れ止めをスタッドの穴に入れる<br> <br>手で方立てをランナに差し込む<br> <br>まぐさを方立てに溶接する<br> |
| 安全帯 | 安全帯ををボルトに掛ける<br> |

図.3.1.3　鋼製壁下地取付け作業の作業内容

②**作業分割**

A工事における鋼製壁下地取付け作業は2人の作業者が1組になって行った。作業分割は2人の作業者のまとまり作業を取付けの部位である、上部ランナ、床ランナ、スタッド、振止め、方立て、まぐさに分類して行った。図.3.1.4には鋼製壁下地取付け作業の作業分割を示す。図に示す如く作業分割は取付け、加工、計測、運搬、移動、案全帯の単位作業の分類項目に基づいて要素作業のレベルまでに行った。

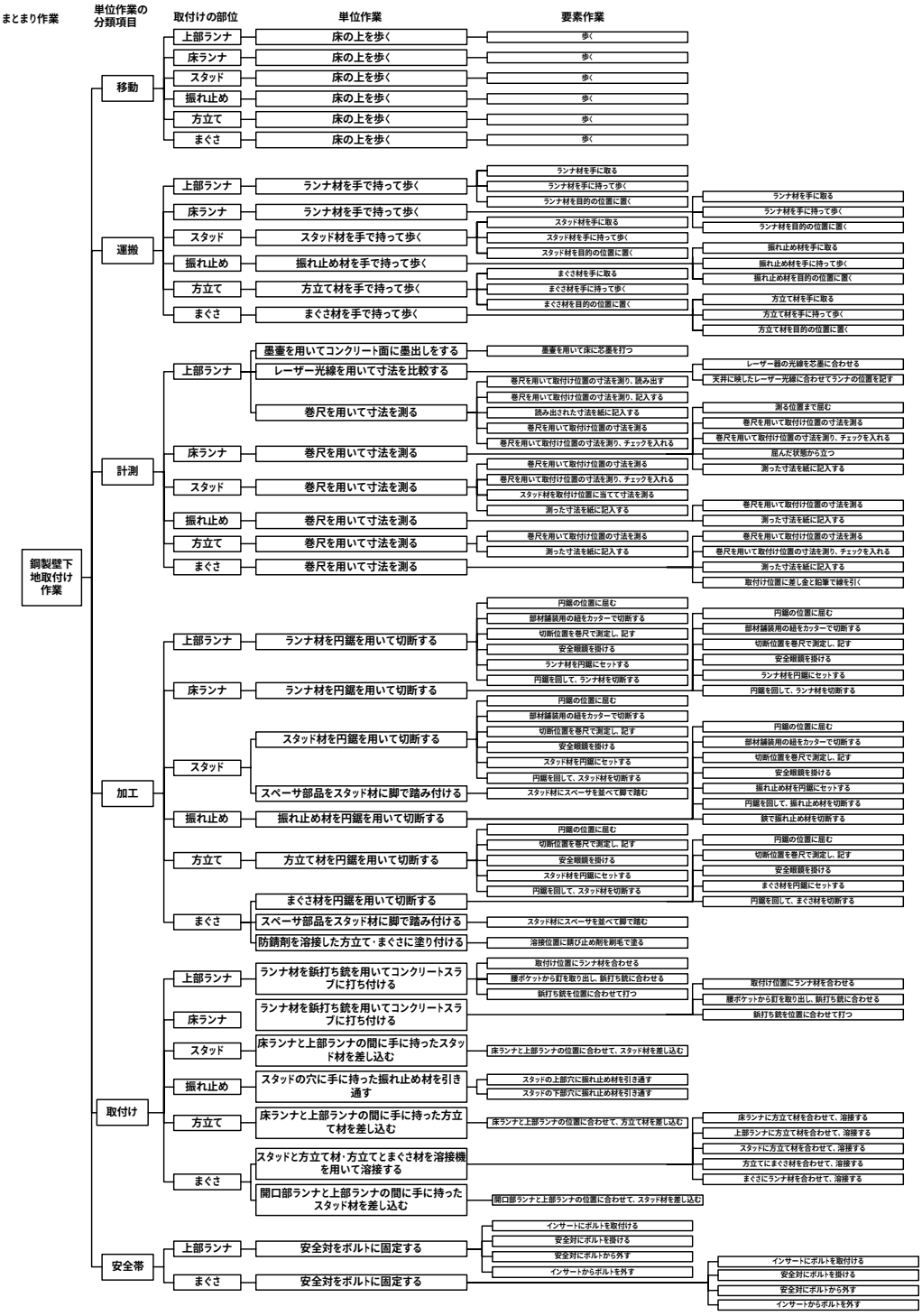



図.3.1.4　鋼製壁下地取付け作業の作業分割

### ③要素作業の作業時間

要素作業レベルの作業時間の測定は取付け方法が異なる各部位別に行い、集計した。以下の項目に各取付けの部位における作業時間の測定結果を示す。

A. 上部ランナ

上部ランナの取付け作業は移動、運搬、計測、加工、取付け、安全帯の単位作業の分類項目に基づいて分割した要素作業の作業時間の集計を行った。表.3.1.2 には上部ランナの取付け作業における要素作業の実測作業時間値を示す。図.3.1.5 には上部ランナの取付け作業における単位作業の分類項目ごとに合計した作業時間の割合を示す。図に示す如く、上部ランナの取付け作業の安全帯が占める作業時間は 1942.65 秒(全作業時間の割合 10.89%)、取付けは 3898.94 秒（全作業時間の割合 21.94%)、加工は 1678.13 秒（全作業時間の割合 9.44%)、計測は 8161.24 秒（全作業時間の割合 45.93%)、運搬は 619.07 秒（全作業時間の割合 3.48%)、移動は 1468.00 秒（全作業時間の割合 8.26%）であった。上部ランナの取付け作業は床の芯墨を天井に写すための「レーザー器の光線を芯墨に合わせる」の要素作業が含まれるため、全作業時間に対して計測が最も大きい割合を占める。

表.3.1.2　上部ランナの取付け作業における要素作業の実測作業時間値

| 取付けの部位 | 単位作業の分類項目 | 要素作業 | 作業時間の合計(秒) | 全作業時間に対する割合(%) | 平均値(秒/回) | 標準偏差(秒/回) | 変動係数 | 発生回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 上部ランナ | 移動 | 歩く | 1468.00 | 8.26 | 6.89 | 10.28 | 1.49 | 213 |
| | 運搬 | 上部ランナ材を手に取る | 102.65 | 0.58 | 2.18 | 1.63 | 0.75 | 47 |
| | | 上部ランナ材を手に持って歩く | 441.02 | 2.48 | 9.19 | 7.57 | 0.82 | 48 |
| | | 上部ランナ材を目的の位置に置く | 75.40 | 0.42 | 1.88 | 1.11 | 0.59 | 40 |
| | 計測 | 墨壺を用いて床に芯墨を打つ | 557.13 | 3.14 | 29.32 | 9.78 | 0.33 | 19 |
| | | レーザー器の光線を芯墨に合わせる | 3620.15 | 20.37 | 95.26 | 56.86 | 0.60 | 38 |
| | | 天井に映したレーザー光線に合わせてランナの位置を記す | 2974.07 | 16.74 | 37.65 | 27.51 | 0.73 | 79 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測り、読み出す | 181.08 | 1.02 | 16.46 | 5.69 | 0.35 | 11 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測り、記入する | 71.57 | 0.40 | 10.22 | 6.22 | 0.61 | 7 |
| | | 読み出された寸法を紙に記入する | 323.56 | 1.82 | 23.11 | 14.50 | 0.63 | 14 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測る | 373.04 | 2.10 | 12.86 | 7.63 | 0.59 | 29 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測り、チェックを入れる | 60.64 | 0.34 | 20.21 | 6.66 | 0.33 | 3 |
| | 加工 | 円鋸の位置に屈む | 29.45 | 0.17 | 1.02 | 0.48 | 0.47 | 29 |
| | | 部材の舗装用の紐をカッターで切断する | 65.78 | 0.37 | 8.22 | 4.41 | 0.54 | 8 |
| | | 切断位置を巻尺で測定し、記す | 547.99 | 3.08 | 9.61 | 3.90 | 0.41 | 57 |
| | | 安全眼鏡を掛ける | 49.50 | 0.28 | 2.75 | 1.59 | 0.58 | 18 |
| | | ランナ材を円鋸にセットする | 310.43 | 1.75 | 5.54 | 2.73 | 0.49 | 56 |
| | | 円鋸を回して、ランナ材を切断する | 674.98 | 3.80 | 10.23 | 2.59 | 0.25 | 66 |
| | 取付け | 取付け位置にランナ材を合わせる | 2172.38 | 12.23 | 11.26 | 10.27 | 0.91 | 193 |
| | | 腰ポケットから鋲を取り出し、鋲打ち銃に合わせる | 838.76 | 4.72 | 4.69 | 1.72 | 0.37 | 179 |
| | | 鋲打ち銃を位置に合わせて打つ | 887.80 | 5.00 | 4.46 | 1.98 | 0.44 | 199 |
| | 安全帯 | インサートにボルトを取付ける | 663.13 | 3.73 | 6.38 | 2.07 | 0.32 | 104 |
| | | 安全帯をボルトに掛ける | 445.13 | 2.51 | 2.60 | 0.96 | 0.37 | 171 |
| | | 安全帯をボルトから外す | 364.88 | 2.05 | 2.15 | 0.76 | 0.35 | 170 |
| | | インサートからボルトを外す | 469.51 | 2.64 | 4.99 | 2.32 | 0.46 | 94 |
| 合計 | | | 17768.03 | 100.00 | ー | ー | | ー |

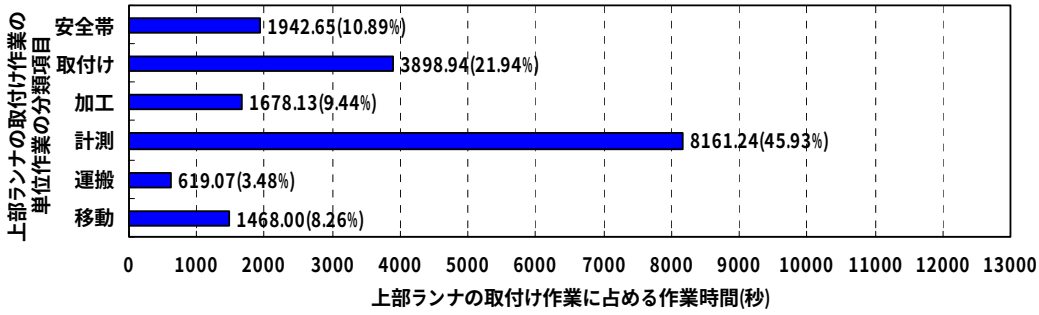



図.3.1.5　上部ランナの取付け作業における作業時間の割合

B. 床ランナ

床ランナの取付け作業は移動、運搬、計測、加工、取付けの単位作業の分類項目に基づいて分割した要素作業の作業時間の集計を行った。表.3.1.3 には床ランナの取付け作業における要素作業の実測作業時間値を示す。図.3.1.6 には床ランナの取付け作業における作業時間の割合を示す。図に示す如く、床ランナの取付け作業の取付けが占める作業時間は 2731.94 秒（全作業時間の割合 39.28%)、加工は 2140.84 秒（全作業時間の割合 30.78%)、計測は 1229.96 秒（全作業時間の割合 17.69%)、運搬は 261.07 秒（全作業時間の割合 3.75%)、移動は 590.44 秒（全作業時間の割合 8.49%）であった。床ランナの取付け作業は床の芯墨に正確に合わせるための「取付け位置にランナ材を合わせる」の要素作業が含まれるため、全作業に対して取付けが最も大きい割合を占める。

表.3.1.3　床ランナの取付け作業における要素作業の実測作業時間値

| 取付けの部位 | 単位作業の分類項目 | 要素作業 | 作業時間の合計(秒) | 全作業時間に対する割合(%) | 平均値(秒/回) | 標準偏差(秒/回) | 変動係数 | 発生回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 床ランナ | 移動 | 歩く | 590.44 | 8.49 | 6.09 | 5.83 | 0.96 | 97 |
| | 運搬 | 床ランナ材を手に取る | 48.15 | 0.69 | 2.41 | 1.34 | 0.56 | 20 |
| | | 床ランナ材を手に持って歩く | 177.48 | 2.55 | 8.87 | 5.83 | 0.66 | 20 |
| | | 床ランナ材を目的の位置に置く | 35.44 | 0.51 | 1.77 | 0.95 | 0.54 | 20 |
| | 計測 | 測る位置まで屈む | 28.25 | 0.41 | 1.05 | 0.25 | 0.24 | 27 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測る | 661.89 | 9.52 | 7.35 | 4.32 | 0.59 | 90 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測り、チェックを入れる | 199.24 | 2.87 | 8.66 | 5.15 | 0.59 | 23 |
| | | 屈んだ状態から立つ | 27.67 | 0.40 | 0.99 | 0.89 | 0.90 | 28 |
| | | 測った寸法を紙に記入する | 312.91 | 4.50 | 3.96 | 1.91 | 0.48 | 79 |
| | 加工 | 円鋸の位置に屈む | 10.73 | 0.15 | 0.98 | 0.30 | 0.31 | 11 |
| | | 部材の舗装用の紐をカッターで切断する | 31.16 | 0.45 | 7.79 | 1.72 | 0.22 | 4 |
| | | 切断位置を巻尺で測定し、記す | 571.28 | 8.21 | 8.16 | 3.23 | 0.40 | 70 |
| | | 安全眼鏡を掛ける | 48.72 | 0.70 | 4.06 | 3.70 | 0.91 | 12 |
| | | ランナ材を円鋸にセットする | 945.25 | 13.59 | 12.95 | 7.71 | 0.60 | 73 |
| | | 円鋸を回して、ランナ材を切断する | 533.70 | 7.67 | 8.09 | 1.30 | 0.16 | 66 |
| | 取付け | 取付け位置にランナ材を合わせる | 1521.38 | 21.88 | 7.65 | 7.37 | 0.96 | 199 |
| | | 腰ポケットから鋲を取り出し、鋲打ち銃に合わせる | 657.25 | 9.45 | 3.61 | 1.89 | 0.52 | 182 |
| | | 鋲打ち銃を位置に合わせて打つ | 553.31 | 7.96 | 2.78 | 1.06 | 0.38 | 199 |
| 合計 | | | 6954.25 | 100.00 | ー | ー | ー | ー |

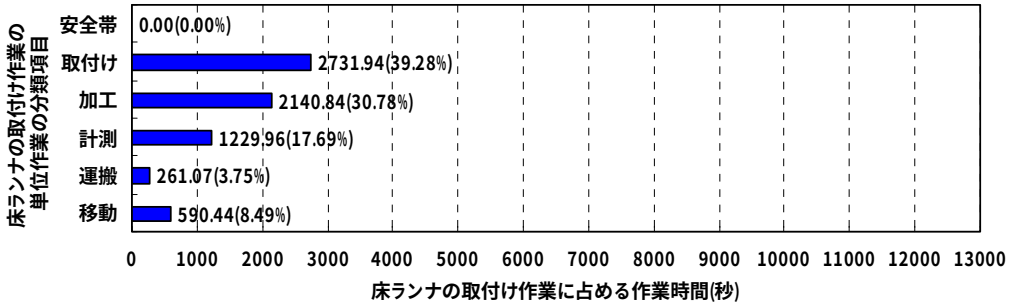



図.3.1.6　床ランナの取付け作業における作業時間の割合

C. スタッド

スタッドの取付け作業は移動、運搬、計測、加工、取付けの単位作業の分類項目に基づいて分割した要素作業の作業時間の集計を行った。表.3.1.4 にはスタッドの取付け作業における要素作業の実測作業時間値を示す。図.3.1.7 にはスタッドの取付け作業における作業時間の割合を示す。図に示す如く、スタッドの取付け作業の取付けが占める作業時間は 3689.13 秒(全作業時間の割合 18.06%)、加工は 12077.20 秒(全作業時間の割合 59.12%)、計測は 1136.70 秒(全作業時間の割合 5.56%)、運搬は 1946.76 秒(全作業時間の割合 9.53%)、移動は 1578.50 秒（全作業時間の割合 7.73%）であった。スタッドの取付け作業はスタッドにスペーサを取付けるための「スタッド材にスペーサを並べて脚で踏む」の要素作業を含むため、全作業に対して加工が最も大きい割合を占める。

表.3.1.4 スタッドの取付け作業における要素作業の実測作業時間値

| 取付けの部位 | 単位作業の分類項目 | 要素作業 | 作業時間の合計(秒) | 全作業時間に対する割合(%) | 平均値(秒/回) | 標準偏差(秒/回) | 変動係数 | 発生回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| スタッド | 移動 | 歩く | 1578.50 | 7.73 | 4.86 | 4.10 | 0.84 | 325 |
| | 運搬 | スタッド材を手に取る | 640.33 | 3.13 | 2.89 | 2.01 | 0.70 | 221 |
| | | スタッド材を手に持って歩く | 937.06 | 4.59 | 4.28 | 3.42 | 0.80 | 219 |
| | | スタッド材を目的の位置に置く | 369.37 | 1.81 | 1.78 | 0.94 | 0.53 | 207 |
| | 計測 | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測る | 108.54 | 0.53 | 12.06 | 4.84 | 0.40 | 9 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測り、チェックを入れる | 877.38 | 4.29 | 36.55 | 32.26 | 0.88 | 24 |
| | | スタッド材を取付け位置に当てて寸法を測る | 128.89 | 0.63 | 3.30 | 2.48 | 0.75 | 39 |
| | | 測った寸法を紙に記入する | 21.89 | 0.11 | 5.47 | 2.88 | 0.53 | 4 |
| | 加工 | 円鋸の位置に屈む | 34.78 | 0.17 | 0.92 | 0.16 | 0.17 | 38 |
| | | 部材の舗装用の紐をカッターで切断する | 230.22 | 1.13 | 9.21 | 4.73 | 0.51 | 25 |
| | | 切断位置を巻尺で測定し、記す | 720.39 | 3.53 | 10.29 | 3.98 | 0.39 | 70 |
| | | 安全眼鏡を掛ける | 117.28 | 0.57 | 3.01 | 1.80 | 0.60 | 39 |
| | | スタッド材を円鋸にセットする | 1429.56 | 7.00 | 11.72 | 7.92 | 0.68 | 122 |
| | | 円鋸を回して、スタッド材を切断する | 2142.12 | 10.49 | 17.56 | 7.80 | 0.44 | 122 |
| | | スタッド材にスペーサを並べて脚で踏む | 7402.85 | 36.24 | 321.86 | 202.95 | 0.63 | 23 |
| | 取付け | 床ランナと上部ランナの位置に合わせてにスタッドを差し込む | 3689.13 | 18.06 | 12.14 | 5.95 | 0.49 | 304 |
| 合計 | | | 20428.29 | 100.00 | ー | ー | ー | ー |

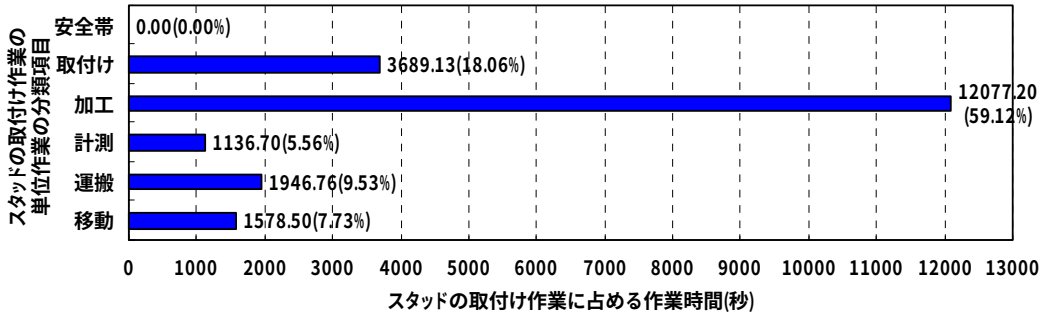



図.3.1.7　スタッドの取付け作業における作業時間の割合

D．振れ止め

振れ止めの取付け作業は移動、運搬、計測、加工、取付けの単位作業の分類項目に基づいて分割した要素作業の作業時間の集計を行った。表.3.1.5 には振れ止めの取付け作業における要素作業の実測作業時間値を示す。図.3.1.8 には振れ止めの取付け作業における作業時間の割合を示す。図に示す如く、振れ止めの取付け作業の取付けが占める作業時間は 1360.06 秒（全作業時間の割合 34.33%)、加工は 1348.99 秒（全作業時間の割合 34.05%)、計測は 475.29 秒（時間の割合 12.00%)、運搬は 394.11 秒（全作業時間の割合 9.95%)、移動は 383.14 秒（全作業時間の割合 9.67%）であった。振れ止めの取付け作業は床から高い位置にあるスタッドの上部の穴に取付けるための「スタッドの上部穴に振れ止め材を引き通す」の要素作業を含むため、全作業に対して取付けが最も大きい割合を占める。

表.3.1.5 振れ止めの取付け作業における要素作業の実測作業時間値

| 取付けの部位 | 単位作業の分類項目 | 要素作業 | 作業時間の合計(秒) | 全作業時間に対する割合(%) | 平均値(秒/回) | 標準偏差(秒/回) | 変動係数 | 発生回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 振れ止め | 移動 | 歩く | 383.14 | 9.67 | 4.97 | 4.53 | 0.91 | 77 |
| | 運搬 | 振れ止め材を手に取る | 86.67 | 2.19 | 3.21 | 2.42 | 0.75 | 27 |
| | | 振れ止め材を手に持って歩く | 245.43 | 6.20 | 6.82 | 5.09 | 0.75 | 36 |
| | | 振れ止め材を目的の位置に置く | 62.01 | 1.57 | 2.14 | 1.39 | 0.65 | 29 |
| | 計測 | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測る | 342.20 | 8.64 | 9.51 | 7.25 | 0.76 | 36 |
| | | 測った寸法を紙に記入する | 133.09 | 3.36 | 4.59 | 1.70 | 0.37 | 29 |
| | 加工 | 円鋸の位置に屈む | 5.09 | 0.13 | 1.02 | 0.18 | 0.18 | 5 |
| | | 部材の舗装用の紐をカッターで切断する | 99.98 | 2.52 | 16.66 | 10.91 | 0.65 | 6 |
| | | 切断位置を巻尺で測定し、記す | 445.03 | 11.23 | 12.03 | 6.31 | 0.52 | 37 |
| | | 安全眼鏡を掛ける | 12.81 | 0.32 | 2.56 | 1.30 | 0.51 | 5 |
| | | 振れ止め材を円鋸にセットする | 457.57 | 11.55 | 12.71 | 6.13 | 0.48 | 36 |
| | | 円鋸を回して、振れ止め材を切断する | 261.68 | 6.61 | 6.89 | 2.47 | 0.36 | 38 |
| | | 鋏で振れ止め材を切断する | 66.83 | 1.69 | 16.71 | 4.46 | 0.27 | 4 |
| | 取付け | スタッドの上部穴に振れ止め材を引き通す | 827.27 | 20.88 | 19.70 | 14.05 | 0.71 | 42 |
| | | スタッドの下部穴に振れ止め材を引き通す | 532.79 | 13.45 | 12.69 | 6.66 | 0.52 | 42 |
| 合計 | | | 3961.59 | 100.00 | ー | ー | ー | ー |

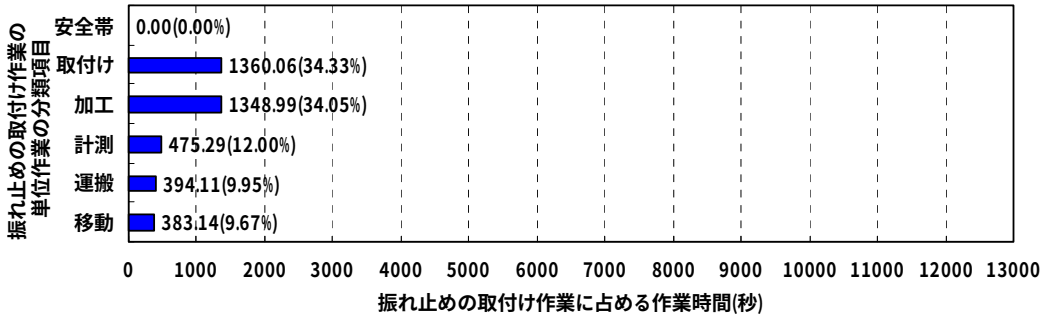



図.3.1.8　振れ止めの取付け作業における作業時間の割合

E. 方立て

方立ての取付け作業は移動、運搬、計測、加工、取付けの単位作業の分類項目に基づいて分割した要素作業の作業時間の集計を行った。表.3.1.6 には方立ての取付け作業における要素作業の実測作業時間値を示す。図.3.1.9 には方立ての取付け作業における作業時間の割合を示す。図に示す如く、方立ての取付け作業の取付けが占める作業時間は 821.25 秒（全作業時間の割合 21.83%)、加工は 1832.79 秒(全作業時間の割合 48.70%)、計測は 77.90 秒（全作業時間の割合 2.07%)、運搬は 658.16 秒（全作業時間の割合 17.50%)、移動は 372.28 秒（全作業時間の割合 9.90%）であった。方立ての取付け作業は他の部材に比較して厚い断面を切断するための「円鋸を回して、方立て材を切断する」の要素作業を含むため、全作業時間に対して加工が最も大きい割合を占める。

表.3.1.6 方立ての取付け作業における要素作業の実測作業時間値

| 取付けの部位 | 単位作業の分類項目 | 要素作業 | 作業時間の合計(秒) | 全作業時間に対する割合(%) | 平均値(秒/回) | 標準偏差(秒/回) | 変動係数 | 発生回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 方立て | 移動 | 歩く | 372.28 | 9.90 | 6.77 | 6.94 | 1.03 | 55 |
| | 運搬 | 方立て材を手に取る | 191.82 | 5.10 | 3.91 | 1.62 | 0.41 | 49 |
| | | 方立て材を手に持って歩く | 352.16 | 9.36 | 7.19 | 7.24 | 1.01 | 49 |
| | | 方立て材を目的の位置に置く | 114.18 | 3.04 | 2.44 | 1.04 | 0.43 | 47 |
| | 計測 | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測る | 55.38 | 1.47 | 13.84 | 3.41 | 0.25 | 4 |
| | | 測った寸法を紙に記入する | 22.52 | 0.60 | 11.26 | 3.82 | 0.34 | 2 |
| | 加工 | 円鋸の位置に屈む | 6.48 | 0.17 | 1.08 | 0.29 | 0.27 | 6 |
| | | 切断位置を巻尺で測定し、記す | 316.47 | 8.41 | 15.07 | 6.75 | 0.45 | 21 |
| | | 安全眼鏡を掛ける | 43.32 | 1.15 | 2.41 | 1.87 | 0.78 | 18 |
| | | 方立て材を円鋸にセットする | 539.34 | 14.34 | 20.74 | 16.16 | 0.78 | 26 |
| | | 円鋸を回して、方立て材を切断する | 926.18 | 24.62 | 37.05 | 21.19 | 0.57 | 25 |
| | 取付け | 床ランナと上部ランナの位置に合わせてに方立て材を差し込む | 821.25 | 21.83 | 15.21 | 6.82 | 0.45 | 54 |
| 合計 | | | 3761.38 | 100.00 | ー | ー | ー | ー |

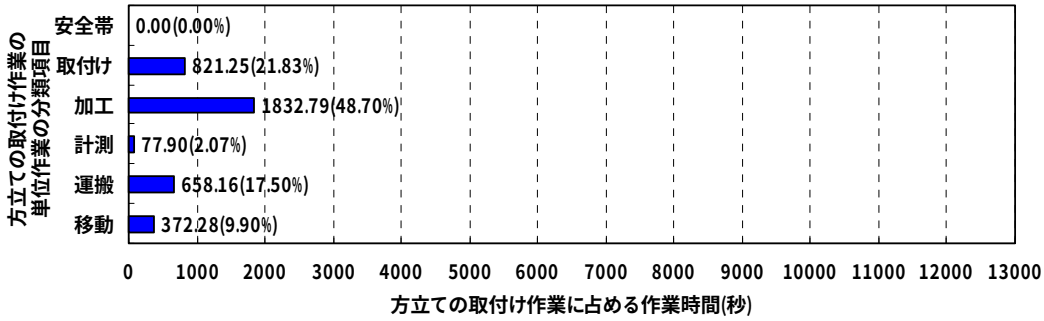



図.3.1.9　方立ての取付け作業における作業時間の割合

F. まぐさ

まぐさの取付け作業は移動、運搬、計測、加工、取付け、安全帯の単位作業の分類項目に基づいて分割した要素作業の作業時間の集計を行った。表.3.1.7 には方立ての取付け作業における要素作業の実測作業時間値を示す。図.3.1.10 にはまぐさの取付け作業における作業時間の割合を示す。図に示す如く、まぐさの取付け作業の安全帯が占める作業時間は 158.10 秒(全作業時間の割合 1.38%)、取付けが占める作業時間は 6164.48 秒（全作業時間の割合%53.96)、加工は 3556.90 秒（全作業時間の割合 31.13%)、計測は 893.66 秒（全作業時間の割合 7.82%)、運搬は 401.71 秒（全作業時間の割合 3.52%)、移動は 250.17 秒（全作業時間の割合 2.19%）であった。まぐさの取付け作業は溶接のための要素作業を含むため、全作業時間に対して取付けが最も大きい割合を占める

表.3.1.7 まぐさの取付け作業における要素作業の実測作業時間値

| 取付けの部位 | 単位作業の分類項目 | 要素作業 | 作業時間の合計(秒) | 全作業時間に対する割合(%) | 平均値(秒/回) | 標準偏差(秒/回) | 変動係数 | 発生回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| まぐさ | 移動 | 歩く | 250.17 | 2.19 | 9.26 | 10.12 | 1.09 | 27.00 |
| | 運搬 | まぐさ材を手に取る | 122.14 | 1.07 | 5.31 | 4.08 | 0.77 | 23.00 |
| | | まぐさ材を手に持って歩く | 213.80 | 1.87 | 7.13 | 4.84 | 0.68 | 30.00 |
| | | まぐさ材を目的の位置に置く | 65.77 | 0.58 | 2.27 | 0.97 | 0.43 | 29.00 |
| | 計測 | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測る | 151.68 | 1.33 | 10.11 | 5.81 | 0.57 | 15.00 |
| | | 巻尺を用いて取付け位置の寸法を測り、チェックを入れる | 468.73 | 4.10 | 36.06 | 12.89 | 0.36 | 13.00 |
| | | 測った寸法を紙に記入する | 70.08 | 0.61 | 5.39 | 2.50 | 0.46 | 13.00 |
| | | 取付け位置に差し金と鉛筆で線を引く | 203.17 | 1.78 | 15.63 | 2.66 | 0.17 | 13.00 |
| | 加工 | 円鋸の位置に屈む | 3.84 | 0.03 | 0.96 | 0.27 | 0.28 | 4.00 |
| | | 切断位置を巻尺で測定し、記す | 465.05 | 4.07 | 13.29 | 5.16 | 0.39 | 35.00 |
| | | 安全眼鏡を掛ける | 36.57 | 0.32 | 3.05 | 1.78 | 0.58 | 12.00 |
| | | まぐさ材を円鋸にセットする | 613.01 | 5.37 | 16.57 | 9.71 | 0.59 | 37.00 |
| | | 円鋸を回して、まぐさ材を切断する | 658.97 | 5.77 | 17.81 | 11.79 | 0.66 | 37.00 |
| | | まぐさ上部スタッド材にスペーサを取付ける | 622.36 | 5.45 | 56.58 | 22.06 | 0.39 | 11.00 |
| | | 溶接位置に錆び止め剤を刷毛で塗る | 1157.10 | 10.13 | 12.72 | 8.75 | 0.69 | 91.00 |
| | 取付け | 床ランナに方立て材を合わせて、溶接する | 1711.97 | 14.98 | 131.69 | 26.63 | 0.20 | 13.00 |
| | | 上部ランナに方立て材を合わせて、溶接する | 1182.28 | 10.35 | 90.94 | 20.02 | 0.22 | 13.00 |
| | | 方立てにスタッド材を合わせて、溶接する | 886.92 | 7.76 | 68.22 | 20.08 | 0.29 | 13.00 |
| | | 方立てにまぐさ材を合わせて、溶接する | 1358.65 | 11.89 | 104.51 | 22.64 | 0.22 | 13.00 |
| | | まぐさにランナ材を合わせて、溶接する | 547.64 | 4.79 | 42.13 | 14.17 | 0.34 | 13.00 |
| | | 開口部ランナと上部ランナの間にスタッドを差し込む | 477.02 | 4.18 | 8.09 | 2.34 | 0.29 | 59.00 |
| | 安全帯 | インサートにボルトを取付ける | 83.74 | 0.73 | 7.61 | 2.23 | 0.29 | 11.00 |
| | | 安全帯をボルトに掛ける | 31.32 | 0.27 | 2.41 | 0.58 | 0.24 | 13.00 |
| | | 安全帯をボルトから外す | 13.16 | 0.12 | 2.19 | 0.53 | 0.24 | 6.00 |
| | | インサートからボルトを外す | 29.88 | 0.26 | 5.98 | 1.25 | 0.21 | 5.00 |
| 合計 | | | 11425.02 | 100.00 | ― | ― | ― | ― |

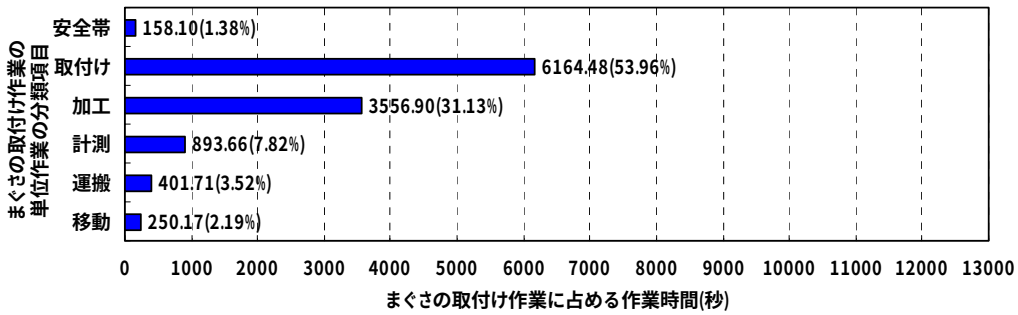



図.3.1.10　まぐさの取付け作業における作業時間の割合

### ④単位作業別の作業時間

取付けの部位ごとに測定した要素作業の作業時間を合計し、単位作業の分類項目ごとに合計を行った。合計した作業時間の割合を取付けの部位別に比較した結果を図 3.1.11 に示す。図に示す如く、上部ランナは床の芯墨を天井に映すため 45.95%と計測の割合が大きい。スタッドと方立てはスペーサの取付けのため 59.12%と加工の割合が大きい。まぐさは溶接を行うため 53.96%と取付けの割合が大きい。以上の結果から、各部位の作業時間は作業の内容によってその割合が異なることが判った。

鋼製壁下地取付け作業の単位作業の分類項目における作業時間の割合を図.3.1.12 示す。図に示す如く、鋼製壁下地取付け作業の移動が占める作業時間は 77.38 分(全作業時間の割合 7.22%)、運搬は 71.35 分(全作業時間の割合 6.66%)、計測は 199.58 分(全作業時間の割合 18.62%)、加工は 377.23 分(全作業時間の割合 35.2%)、取付けは 311.10 分(全作業時間の割合 29.03%)、安全帯は 35.01 分(全作業時間の割合 3.27%)であった。

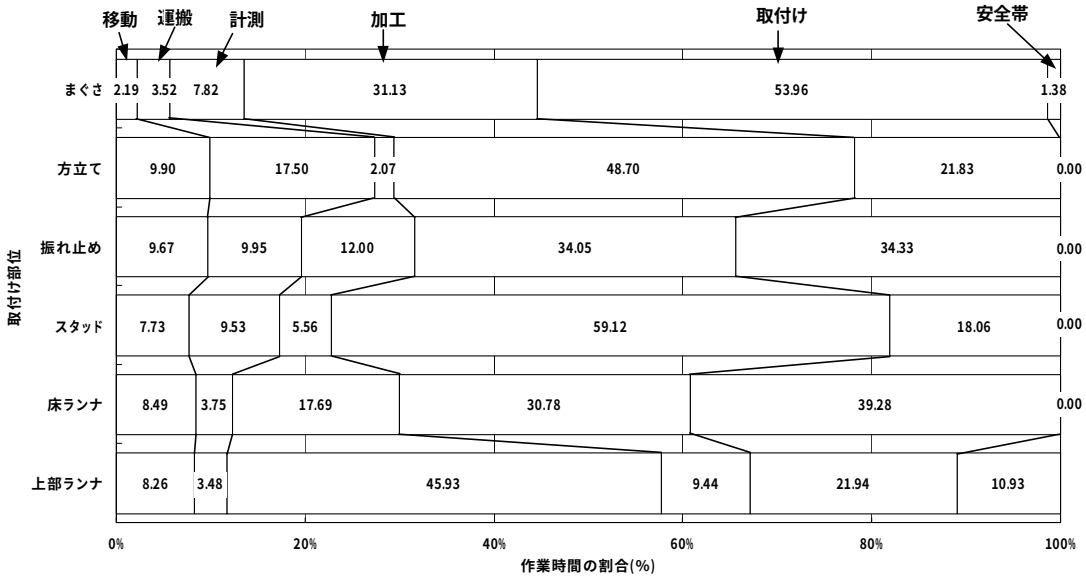



図.3.1.11　取付けの部位における作業時間の割合

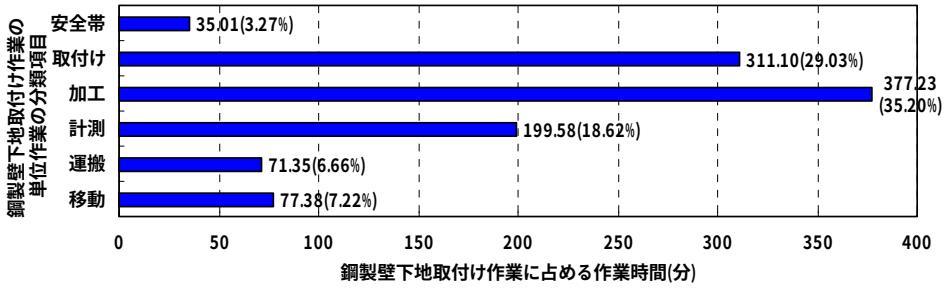



図.3.1.12　鋼製壁下地取付け作業における作業時間の割合

**⑤取付け部位別の作業時間と施工量**

鋼製壁下地取付け作業の作業時間と施工量の集計を行った。表.3.1.8 には部位別の「延べ作業時間」「施工量」「作業時間当りの施工量」を示す。表に示す如く、各取付け作業の部位における単位作業の時間を合計して延べ作業時間を算出した。それを合計した作業時間は 17.86 時間であった。施工量は取付け部位の形状によって、壁の長さ方向に部材を繋いで取付ける「ランナ」と「振れ止め」はその長さの寸法を測定し、壁の縦方向に 1 本づつ取付ける「スタッド」はその本数を測定し、開口部の補強のために取付ける「方立て」と「まぐさ」は開口部の箇所を測定した。取付け作業を行った壁の面積は開口部を含めて 444.5m$^2$であった。作業者 1 人が 1 時間に取付けた壁の面積は 24.89m$^2$であった。

表.3.1.8　鋼製壁下地取付け作業の部位別延べ作業時間と施工量と作業時間当りの施工量

| 取付けの部位 | 延べ作業時間(時間) | 施工量 | 作業時間当りの作業量 |
|---|---|---|---|
| 上部ランナ | 4.94 | 取付け長さ:138.11m | 22.98(m/人･時間) |
| 床ランナ | 1.93 | 取付け長さ:107.71m | 55.76(m/人･時間) |
| スタット | 5.67 | 取付け本数:304本 | 53.57(本/人･時間) |
| 振れ止め | 1.10 | 取付け長さ:215.42m | 195.76(m/人･時間) |
| 方立て | 1.04 | 開口部の箇所:19ヶ所 | 18.18(ヶ所/人･時間) |
| まぐさ | 3.17 | 開口部の箇所:13ヶ所 | 4.10(ヶ所/人･時間) |
| 合計 | 17.86 | 鋼製下地壁の面積:444.5m$^2$ (開口部含む) | 24.89(m$^2$/人･時間) |

**⑥作業時間の特性値の算出**

取付け作業の延べ作業時間と施工量を用いて特性値を求めた。表.3.1.9 には取付けの部位別の特性値を示す。表に示す如く、上部ランナの取付け作業における単位作業の分類項目別の特性値は取付けたランナ 1mの施工量に対して 1 人の作業者が 10.63 秒/m の移動の作業時間、4.06 秒/m の運搬の作業時間、59.09 秒/m の計測の作業時間、12.15 秒/m の加工の作業時間、28.24 秒/m の取付けの作業時間、14.07 秒/m の安全帯の作業時間を必要とし、合計 128.23 秒/m の作業時間を必要とする。

表.3.1.9　取付けの部位別の特性値

| 単位作業の分類項目 | 取付けの部位の特性値 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 上部ランナ (秒･人/m) | 床ランナ (秒･人/m) | スタッド (秒･人/本) | 触れ止め (秒･人/m) | 方立て (秒･人/ヶ所) | まぐさ (秒･人/ヶ所) |
| 移動 | 10.63 | 5.48 | 5.20 | 1.78 | 19.60 | 19.23 |
| 運搬 | 4.06 | 2.42 | 6.40 | 1.83 | 34.66 | 30.91 |
| 計測 | 59.09 | 11.42 | 3.74 | 2.21 | 4.10 | 68.75 |
| 加工 | 12.15 | 19.88 | 39.73 | 6.26 | 96.41 | 273.66 |
| 取付け | 28.24 | 25.37 | 12.14 | 6.32 | 43.23 | 474.21 |
| 安全帯 | 14.07 | — | — | — | — | 12.16 |
| 合計 | 128.23 | 64.57 | 67.20 | 18.39 | 198.00 | 878.91 |

### 3.1.4.結

建築作業における既存の特性値の問題点を述べ（表.3.1.1 参照)、特性値を作業時間の推定に用いる場合､単位作業レベルにおける実測データの測定が必要であることを指摘した。それに基づいて、作業分割した「まとまり作業」｢単位作業」｢要素作業」の各レベルの実測データの測定と特性値の算定方法を提案し、その手順を示した。（図.3.1.1 参照）

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて作業分割を行い、要素作業レベルの時間の測定を行った。（図.3.1.4 参照）測定した作業時間は取付け作業の部位別に分類して、集計した。

以下の項目における取付け作業の単位作業レベルの作業時間を集計して、取付け作業を構成する単位作業の作業時間の割合を示した。

① 上部ランナの取付けは「計測」の時間が 45.93%と高い割合を示した。（図.3.1.5 参照）

② 床ランナの取付けは「取付け」の時間が 39.28%と高い割合を示した。（図.3.1.6 参照）

③ スタッドの取付けは「加工」の時間が 59.12%と高い割合を示した。（図.3.1.7 参照）

④ 振れ止めの取付けは「取付け」の時間が 34.33%と高い割合を示した。（図.3.1.8 参照）

⑤ 方立ての取付けは「加工」の時間が 48.70%と高い割合を示した。（図.3.1.9 参照）

⑥ まぐさの取付けは「取付け」の時間が 53.96%と高い割合を示した。（図.3.1.10 参照）

以上の結果、取付け作業に占める単位作業の作業時間の割合は、取付けの部位によって異なり(図.3.1.11 参照)、作業時間の特性値は部位ごとの単位作業のレベルで算定する必要があることを明らかにした。

集計した取付け作業の部位別における単位作業の時間値を、積算した施工量(表.3.1.8 参照)で除して算定した特性値を示した。（表.3.1.9 参照）その結果から、提案した算定方法による特性値は作業時間の推定に有効であることを確認した。

### 3.2.作業者の動作に基づいた作業時間の推定

#### 3.2.1.動作と作業時間の関係

作業は「手を伸ばす」「脚を上げる」「胴を屈む」など作業者の身体部位の動きによって構成される。作業者の動きを対象にした作業研究は、作業を構成する動作の内容を明らかにするための動作分析、動作に予め定められた時間を与えて標準作業時間を作成するための既定時間設定法（PTS 法）などがある。しかし、そのような時間の設定方法は手の動作が主に行われる工場作業を対象に開発されているため、「取付けの作業姿勢が取付け部位によって異なる」「道具の使い方が部材の大きさによって異なる」など作業の条件が一定ではない建築作業における適用は、動作分析による時間設定の可能性は示しているものの、構成する動作の内容が変化する場合は再び動作分析を必要とする問題点がある。

そこで、作業における作業者の動作を用いた作業時間の推定のために、PTS 法の一つである MOST 手法を用いた、作業を構成する動作の時間設定による要素作業の作業時間の推定及び、推定した作業時間値を用いた単位作業とまとまり作業レベルにおける作業時間の算出方法の提案を目的とする

#### 3.2.2.MOST 手法を用いた作業時間の推定方法

①MOST 手法の概要

1920 年頃セガー(Segure、A、B)やホルムズ(Homels、W、G)によって開発された PTS(Predetermined Time Standards)法は作業者の作業を基本構成動作に分割し、その基本動作の性質と条件に応じて予め定めておいた時間値を当てはめることによって標準時間を設定する方法である。PTS 方法は標準時間の設定方法によって MTM（Methods Time Measurement）手法、WF（Work Factor）手法、MODAPTS（Modula Arrangement of Predetermined Time Standards）手法、MOST（Maynard Operation Sequence Technique）手法などがある。

MOST 手法は作業を対象物の移動と定義し、対象物を移動するために行う一連の動作をシーケンス・モデルとして表して、そのシーケンス・モデルに予め設定した動作の時間インデックス値を代入して作業の標準時間を推定する方法である。MOST 手法は分析の対象作業の特性によって Maxi MOST、Basic MOST、Mini MOST のシステムを用いる。本研究では、推定対象作業のサイクルタイムが 0.5 分から 3 分間であり、手作業の分析に適している Basic MOST(以下に示す MOST 手法は Basic MOST を示す)を用いた。

作業時間の推定における MOST 手法の特徴を以下の項目に示す。

A. 作業動作のモデルが設定されているため、作業方法を作業動作に分割することが容易

である。

B. 作業方法の変更による作業時間の再推定が必要な場合、変更された部分の作業動作のみを取り替えて推定することが容易である。

C. 作業動作の内容の範囲における時間のインデックス値カードを用いるため、作業動作の時間を選択することが容易である。

Basic MOST の作業時間の推定は、作業者の一連の動作をその内容によって普通移動シーケンス、制限移動シーケンス、工具使用シーケンスと三つのモデルに作成する。作成されたシーケンス・モデルは決められたサブアクティビティによって構成される。作業時間はサブアクティビティに作業方法毎に予め決められたインデックス値を与えて算出する。表.3.2.1 には Basic MOST のシーケンス・モデルを示す。表.3.2.2 には普通移動のシーケンス・モデルにおけるインデックス値のデータカードを示す。

表.3.2.1 Basic MOST のシーケンス・モデル [66)]

| 作業内容 | シーケンス･モデルの記号 | サブアクティビティ | 適用作業 |
|---|---|---|---|
| 普通移動 | ABGABPA | A･アクション距離<br>B･胴の動作<br>G･コントロール下におく<br>P･位置ぎめ | ①身体を動かす場合<br>②ある対象物を空間で身体部位を用いて運ぶ場合 |
| 制限移動 | ABGMXIA | M･制限移動<br>X･プロセス時間<br>I･軸合わせ | ①ある対象物を制限された経路に運ぶ場合<br>②電動機械を用いる場合 |
| 工具使用 | ABGABP ABPA | F･締める<br>L･緩める<br>C･切る<br>S･表面処理<br>M･測定<br>R･記録<br>T･考える | ①手工具を用いて作業を行う場合<br>②測定器具を用いて計測を行う場合 |

注)Basic MOSTのデータカードから引用

表.3.2.2 普通移動のシーケンス・モデルにおけるインデックス値のデータカード [66)]

| Basic－MOST | | | ABGABPA | | | | 普通移動 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| インデックス×10 | Aアクション距離 | | B胴の動作 | | Gコントロール下におく | | P位置決め | | インデックス×10 |
| | 内容 | キーワード | 内容 | キーワード | 内容 | キーワード | 内容 | キーワード | |
| 0 | ≦2in<br>≦5cm | Close | | | | | 手に持つ軽く投げる | Throw toss<br>Carry<br>pickup | 0 |
| 1 | 手を伸ばせば届く範囲 | | | | 軽い対象物軽い対象物(同時) | Grasp<br>(optional) | 横に置くゆるい組み合わせ | Move<br>Put | 1 |
| 3 | 1－2歩 | 1step<br>2steps | かがむおよび立ち上がる(発生率50%) | Pbend | 軽い対象物<br>障害がある(非同時)からまった 重いまたは集めるかさばる | Get<br>Disengage<br>Free<br>Collect | 調整軽く押す<br>2回調整 | Place<br>Replace | 3 |
| 6 | 3－4歩 | 3steps<br>4steps | かがむおよび立ち上がる | Bend | | | 注意 正確見えない障害がある強く押す途中での移動 | Position<br>reposition | 6 |
| 10 | 5－7歩 | 5steps<br>6steps<br>7steps | 座るまたは立つ | Sit/stand | | | | | 10 |
| 16 | 8－10歩 | 8steps<br>9steps<br>10steps | ドアを通りぬける昇るまたは降りる立つそしてかがむかがむそして座る | Door<br>Climb/descend<br>Stand and bend<br>Bend and sit | | | | | 16 |

注)Basic MOSTのデータカードから引用

②Basic　MOST **手法を用いた推定方法の手順**

Basic　MOST 手法を用いた作業時間の推定の手順を図.3.2.1 に示す。推定の対象とする作業の実態調査を行い、作業場の条件、部材の属性、使用する道具、作業方法などを把握する。把握した内容に基づいて、まとまり作業を取付け・加工・運搬・計測・移動の単位作業の分類項目に基づいて単位作業と要素作業に分割する。要素作業は適用する「普通移動」「制限移動」「工具使用」のシーケンス・モデルに従って分割し、サブアクティビティのモデルを作成する。作成した要素作業のモデルは MOST－計算用紙に記入し、サブアクティビティにインデックス値を与えて、インデックス値を合計することによって時間を決める。インデックス値はサブアクティビティのアクション距離、胴の動作、コントロール、位置決めなどから MOST のデータカードを参照して用いる。

要素作業のシーケンス・モデルは構成する各サブアクティビティが 1 回行う場合を前提として作成する。そのため、「移動距離が長くなり歩く歩数が増える」「鋲打ち銃を 3 回連続して打つ」「巻尺で計る距離が 4m 以上である」など繰り返し行うサブアクティビティを含む場合、その繰り返し行ったサブアクティビティの作業時間を追加する必要がある。そこで、シーケンス・モデルを内容が変化するサブアクティビティと変化しないサブアクティビティに分類し、繰り返す回数を変数とする推定式を作成する。

作成した要素作業の推定式を用いて単位作業の作業時間を算出するためには、まとまり作業の作業フローを作成し、どのような作業条件で要素作業を選択するかを明確にする必要がある。作業フローの作成は、作業条件と作業結果を用いて手順 2 で分割した単位作業のレベルで行う。単位作業はさらに要素作業に置き換えて、なぜその要素作業が必要であるかを問い掛けて作業条件と連結することによって作業フローを作成する。最後に、まとまり作業を構成する要素作業の内容を作業フローから推定し、推定した各要素作業の作業時間を推定式から算出して合計することによって単位作業の作業時間を算出する。

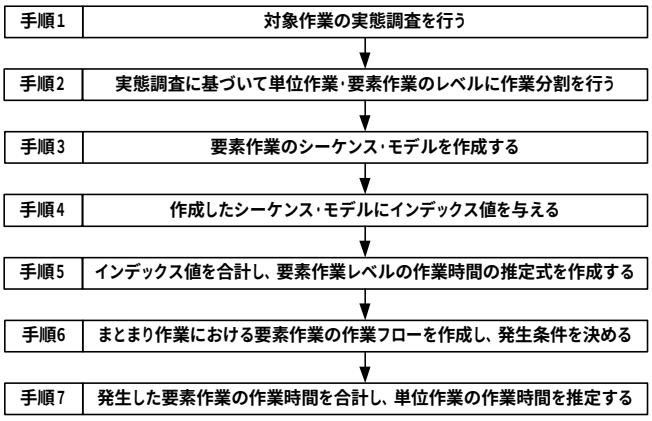



図.3.2.1　Basic　MOST 手法を用いた作業時間の推定の手順

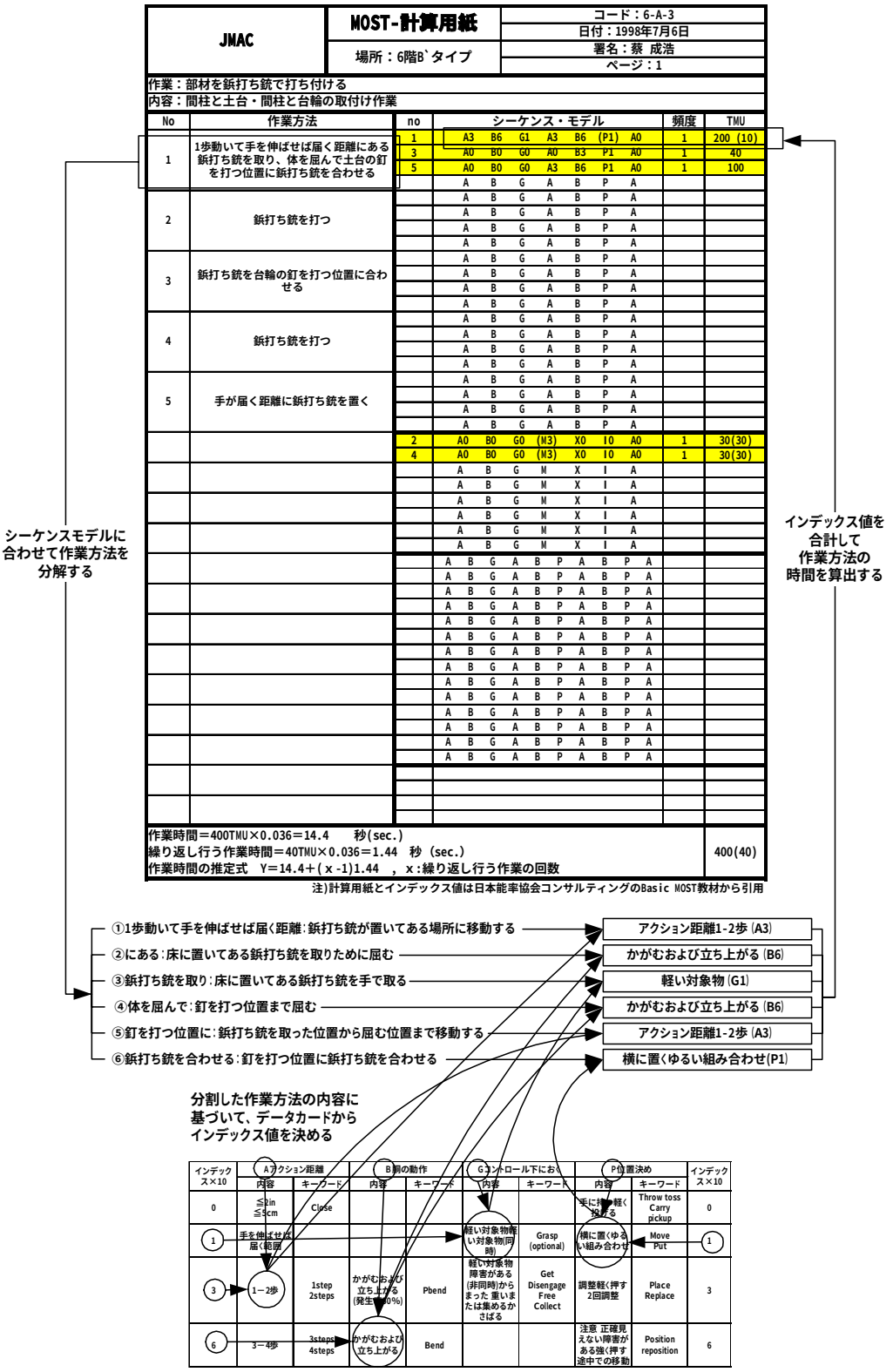



図.3.2.2 MOST－計算用紙におけるインデックス値の計算方法と作業時間の推定値 [66)]

MOST－計算用紙を用いた、要素作業におけるシーケンス・モデルのインデックス値と作業時間の算出は図.3.2.2 の事例に示す如く行う。要素作業である「部材を鋲打ち銃で打ち付ける」とその内容を記す。作業を時系列の作業者の動作に基づいて、シーケンス・モ

デルである「普通移動」「制限移動」「工具使用」に分解する。分解した各シーケンス・モデルにおけるサブアクティビティの「アクション距離」「胴の動作」などを測定する。測定した動作内容に基づいて、表.3.2.2.示したデータカードからインデックス値を決める。

作業時間の算出は、サブアクティビティのインデックス値の合計がサブアクティビティの時間となり、それを合計した時間が要素作業の作業時間（14.4 秒）となる。また、2 本以上の釘を連続して打つ場合、要素作業の作業動作は「鋲打ち銃を打つ」のみを繰り返し行う。その動作は「()」を用いて表示し、繰り返し行う作業時間（1.44 秒）となる。作業時間の推定式は、繰り返す作業回数を変数とする式として作成する（*Y=14.4 秒+（X－1）1.44 秒*）。

③作業フローの作成を用いたまとまり作業の時間算出

作業条件によって単位作業を構成する要素作業の内容が変化する場合、作業フローを用いてその関係を示す。作業フローの作成は、それを構成する要素を作業条件と要素作業とし、作業条件によって選択する要素作業を明確にして行う。

作業フローの作成に用いる要素とその関係を図.3.2.3 に示す。作業フローは、判断と選択を行う「作業条件」の要素、選択した結果を実行する「要素作業」の要素、作業を開始する「START」の要素、作業を終了する「END」要素を用いて作成する。その範囲は、「1 本のスタッド材の取付け」「1 枚の石膏ボードの取付け」など繰り返し行うまとまり作業の 1 サイクルを構成する要素作業とする。

作業条件に後続する要素は、実行する要素作業の選択、続く判断の作業条件の選択、実行する作業条件と判断する要素作業の選択、作業終了の選択である。要素作業の実行後の要素は、再び同じ要素作業の実行、別の要素作業の実行、作業条件の判断である。まとまり作業の開始後の要素は、作業条件の判断、要素作業の実行、作業終了である。まとまり作業の終了前の要素は、作業条件を判断、要素作業の実行である。以上で示した作業フローを用いることによって、推定の対象であるまとまり作業を構成する要素作業と作業条件の関係を定義する。

まとまり作業の作業時間値は、作業フローにおける要素作業の推定式を用いて算出した作業時間の推定値を合計して算出する。式.3.2.1 はまとまり作業の作業時間値の算出式を示す。式に示す如く、まとまり作業の作業時間の推定値 $Y$ は構成する要素作業の作業時間の推定値 $y_i$ を合計して算出する。式.3.2.2 には要素作業の作業時間値の算出式を示す。式に示す如く、要素作業の作業時間の推定値 $y_i$ は要素作業が 1 回行った場合の時間値 $a$ と繰り返し行う作業時間値 $b(x-1)$ を合計して算出する。

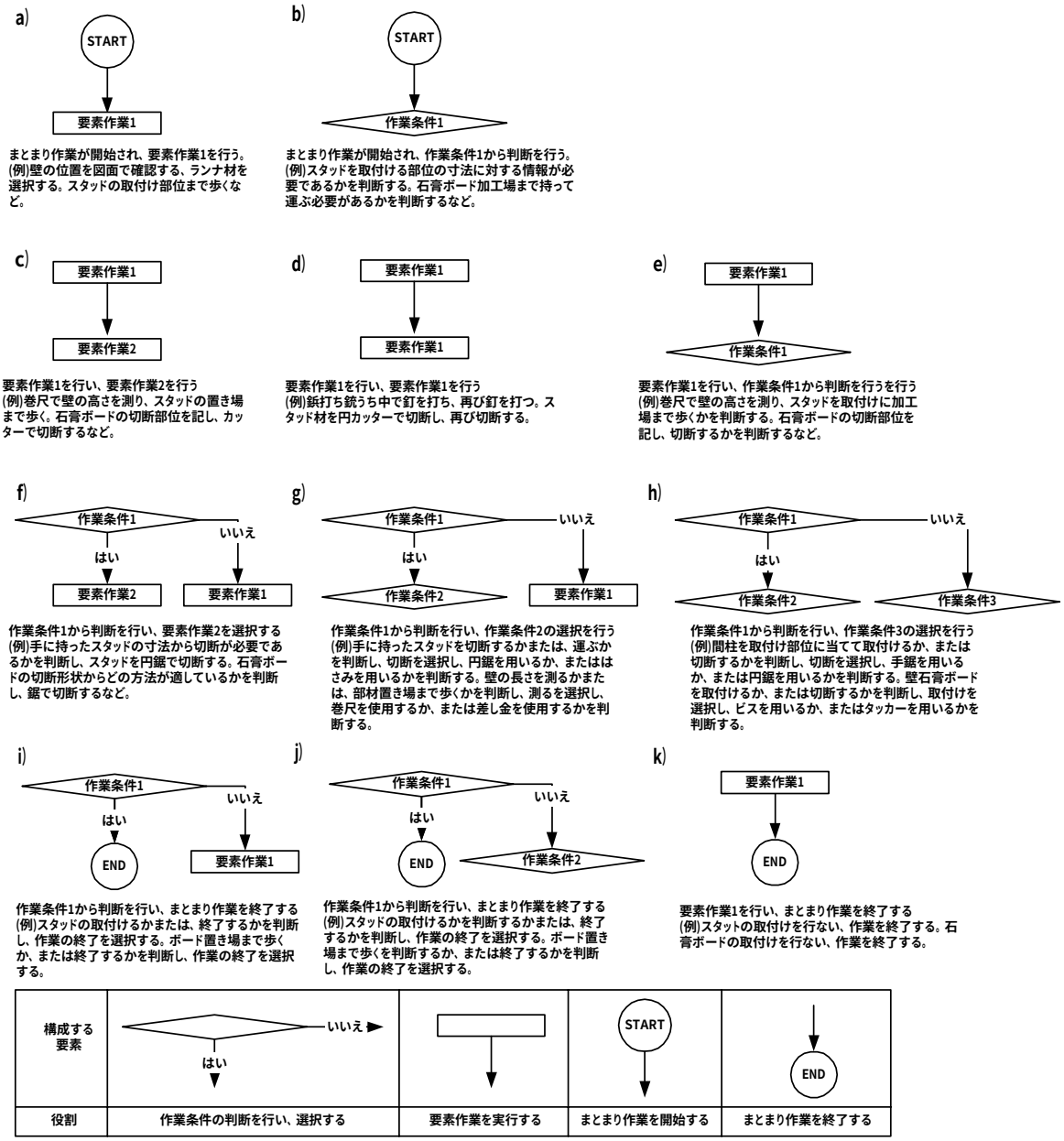



図.3.2.3　作業フローを構成する要素とその関係

$$Y = \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad \cdots\cdots\text{(式.3.2.1.)}$$

$$y_i = a_i + (x_i - 1) \times b_i \qquad \cdots\cdots\text{（式.3.2.2.）}$$

$Y$：**まとまり作業の作業時間**の推定値

$y_i$：**まとまり作業を構成する$i$番目の要素作業の**作業時間の推定値

$n$：まとまり作業を構成する**要素作業の数**

$i$：要素作業の実行順番

$a_i$：**要素作業$yi$が1回行った場合の作業時間**の推定**値**

$x_i$：**要素作業$yi$の繰り返し行う回数**

$b_i$：**要素作業$yi$の繰り返し行う作業時間**の推定**値**

### 3.2.3.木製壁下地取付け作業における適用

#### ①建物と作業の概要

作業時間の推定式の作成における作業者の動作データを求めるための実態調査を表.3.2.3 示す地上 32 階の共同住宅の新築工事（以下 B 工事と示す）の 1 住戸における木製下地取付け作業を対象に実施した.図.3.2.4 には建物の基準階の平面図を示す。図.3.2.5 には B 工事の建物の北側立面図を示す。図.3.2.6 には B 工事の建物の東側立面図を示す。各階の配置は間仕切り壁の平面が異なる 7 住戸が配置されている。データの収集は 5 階におけるコーナー部分に接しない住戸を対象にして行った。

B 工事では 1 人の作業者が運搬車両から各住戸までの部材の搬入を除く 1 住戸分の木製下地取付け作業の全工程を行った。調査の対象とした作業者は当現場において同じ形状を持つ住戸の施工実績があり作業に習熟した状態であった。現場では作業者の全作業の動きを連続してビデオカメラを用いて撮影し、撮影した録画画面を研究室に持ち帰って分析を行った。分析は付帯作業、余裕、非作業を除く主体作業を対象に作業内容の把握と作業時間の測定を行った。

表.3.2.3　調査を行ったＢ工事の建物の概要

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 用途 | 都民住宅208戸 |
| 構造 | 鉄筋コンクリート造 |
| 敷地面積 | 5, 672, 720m$^2$ |
| 建築面積 | 1, 202, 475m$^2$ |
| 延べ床面積 | 22, 783, 867m$^2$ |
| 建物高さ | 98, 260m |
| 階数 | 地上1階、地上32階、搭屋1階 |
| 工事期間 | 1996年11月15日－1999年9月15日 |

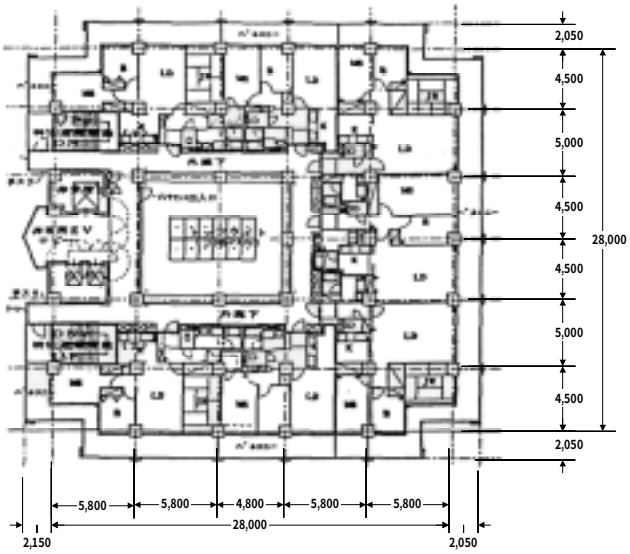



図.3.2.4　B 工事の建物の平面(単位：mm)

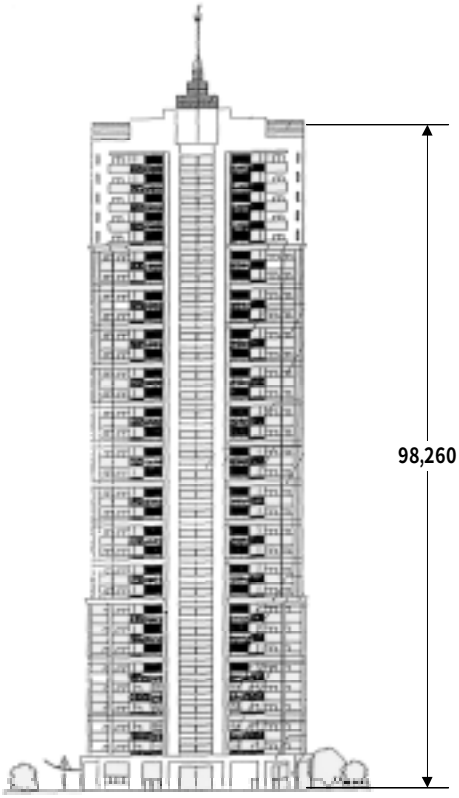



図.3.2.5B 工事の建物の北側立面図(単位：mm)

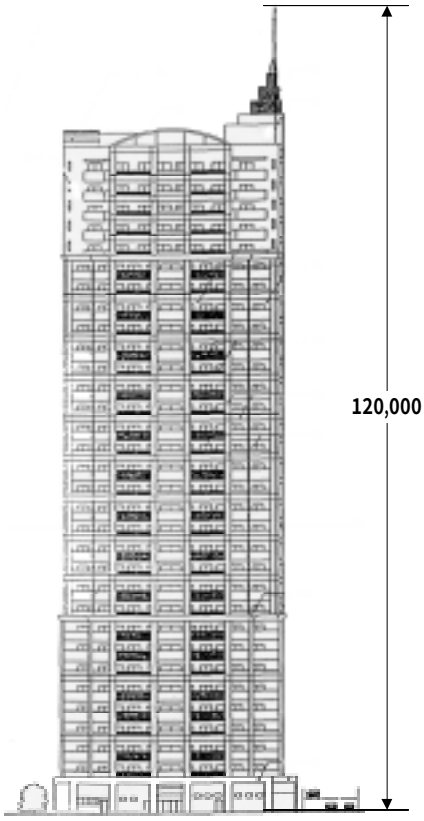
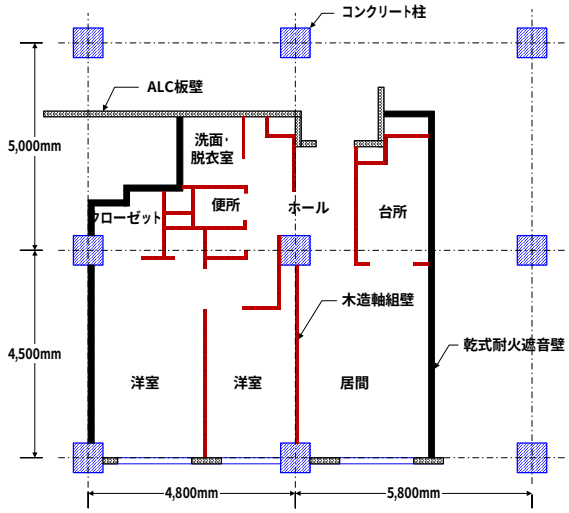



図.3.2.6B 工事の建物の東側立面図(単位：mm)




| 室名 | 床 | | 壁 | | 天井 | | 広さ(m2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 下地 | 仕上げ | 下地 | 仕上げ | 下地 | 仕上げ | |
| 居間<br>食堂<br>洋室<br>ホール･廊下 | 乾式遮音置き床 | 複合フローリング12t | ALC125t<br>PB12.5t<br>乾式耐火遮音壁131t | ビニールクロス | PB9.5t | ビニールクロス | 40.22 |
| 玄関 | モルタル金ゴテ押し | 硬質塩ビタイル | ALC100t<br>PB12.5t<br>乾式耐火遮音壁131t | ビニールクロス | PB9.5t | ビニールクロス | 1.55 |
| 便所<br>洗面･脱衣室 | 乾式遮音置き床 | 長尺塩ビシート1.8t | ALC100t<br>PB12.5t<br>乾式耐火遮音壁131t | ビニールクロス | PB9.5t | ビニールクロス | 4.08 |
| 台所 | 乾式遮音置き床 | 長尺塩ビシート1.8t | ALC100t<br>PB12.5t<br>乾式耐火遮音壁131t<br>ケイカル版6t | ビニールクロス<br>半磁器タイル<br>100×200 | PB9.5t | ビニールクロス | 5.3 |
| クローゼット | 乾式遮音置き床 | 複合フローリング12t | ALC125t<br>PB12.5t<br>乾式耐火遮音壁131t | ビニールクロス | PB9.5t | ビニールクロス | 2.65 |

図.3.2.7　調査の対象にした住戸の間仕切り平面図と各室の仕様(単位：mm)

調査の対象とした住戸における木製下地の間仕切りの平面図と各室の仕様を図.3.2.7 に示す。木製下地壁の面積は 83.38m² であり、床の面積は 53.8 ㎡である。床スラブから天井スラブまでの壁の高さは 3.08m であり、梁の下の場合は梁の高さによって 2.08m、2.18m、2.93mである。床の下地の場合は置き床工法を使用しているため、調査の対象作業では壁におけるきわ根太の取付けのみを行った。

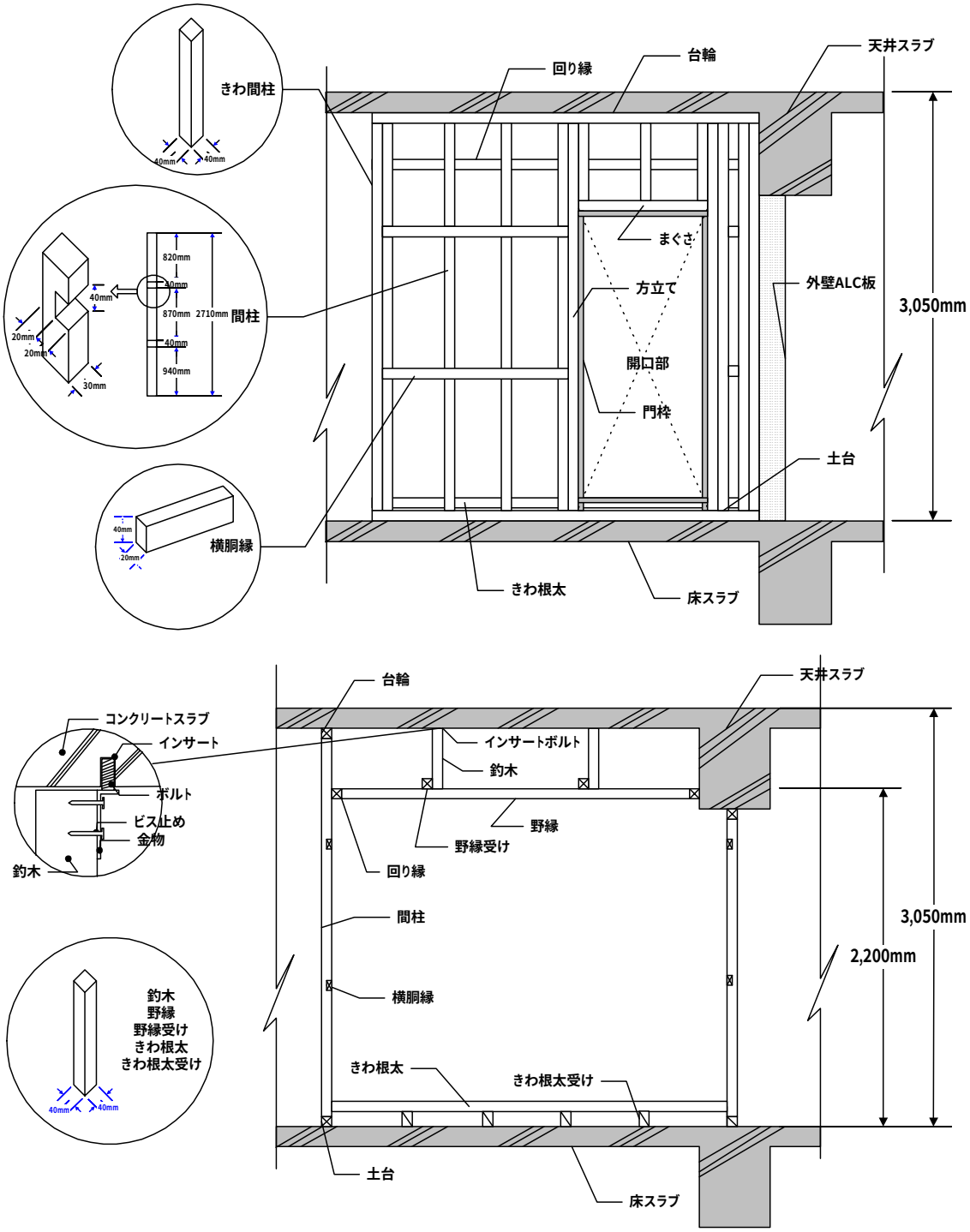



図.3.2.8　木製下地の構造と各部位の名称(単位：mm)

使用された各部材の仕様と軸組の構造を図.3.2.8 に示す。図に示す如く、使用された部材は、きわ間柱・方立て・まぐさ・釣木・野縁・根太の取付けに用いた 40mm×40mm×2710mm の角木材、間柱の取付けに用いた横胴縁固定用の溝(20mm×40mm)を 2 箇所設けた 30mm×40mm×2710mm の角木材、横胴縁の取付けに用いた 20mm×40mm×2710mm の角木材である。

部材の取付けは、壁下地における床スラブの土台、天井スラブの台輪、きわ間柱と間柱、方立てとまぐさ、振れ止め、天井下地における釣木、野縁受け、野縁、床下地におけるきわ根太受け、きわ根太の順に行われた。

取付けは、コンクリート面と木材の取付けはエア鋲打ち銃を用いてコンクリート専用の釘で打ち付けし、木材と木材の取付けはエア鋲打ち銃を用いて一般の釘で打ち付けした。壁におけるせん断力を受ける間柱と横胴縁の取付けはエアインパクトドライバを用いて釘より抜けにくいビスで締め付けを行った。天井下地の釣木のスラブに取付けは、釘で釣木の先端にボルトが付いた金物を打ち付け、予めコンクリートに埋設したインサートにボルトを回して取付けた。きわ根太受けは床根太の高さレベルの調整を必要とするため、ボンドを用いてスラブに貼り付けた。

加工は、鋸を用いた長さ方向の切断、蚤を用いた微調整、釘を用いた部材の接合、ボンドを用いた部材の接合を行った。切断は多くの場合、仮設の卓上に設置した電動円鋸を使用して行い、卓上まで戻れない状態の簡単な場合は携帯の電動鋸を用いて行った。また、取付けた後の長さの調整が必要であった天井の釣木・野縁などの切断は手鋸を用いて行った。部材の接合は、間柱を重ねる必要がある場合、作業台の上で二つの部材を鋲打ち銃を用いて接合した。根太受けは斜めに切断した二つの部材を長さの調整をしながらボンドを用いて接合した。

計測は、床に芯墨から墨出しした間仕切りの位置の墨線を基準に行った。寸法の計測は、巻尺・差し金を用いて行い、壁の垂直の測定は下げ振りを用いて行った。また、間柱における取付け部位の高さの測定は、巻尺を用いて垂直距離を正確に採寸できなかったため、適当に切断した部材を取付け位置に当てて切断部位を記入した。

運搬と移動は、取付けの部材と道具がすべて準備されていたため、住戸の中でのみ行った。運搬の対象は手で持つ大きさである部材と道具であったため、台車など補助の器具は使用しなかった。移動は主に床の上を歩いたが、天井部位の取付けと間柱の上部釘打ちの場合は脚立と足場を用いた。足場の場合は、天井取付けの部位の下に同面積の仮設足場を 1m 高さに設置して、その上を歩いて作業を行った。脚立の場合は、高さ 1m の移動式脚立を必要な位置に運搬し、上って作業を行った。

木製壁下地取付け作業の単位作業の分類項目における作業内容を図.3.2.9 に示す。

| 単位作業の分類項目 | 作業内容 |
|---|---|
| 取付け | 手で部材の位置を調整する<br> <br>ハンマで部材の位置を調整する<br> <br>鋲打ち銃を打つ<br> <br>ボンドで部材を貼りつける<br> <br>インパクトドライバでネジを打つ<br> |
| 加工 | ボンドを部材に塗る<br> <br>鋲打ち銃で部材を接合する<br> <br>部材を揃える<br> <br>鋸で切断する<br> <br>卓上鋸で切断する<br> <br>携帯丸鋸で切断する<br> |
| 計測 | 部材を当てて寸法を測る<br> <br>墨を打つ<br> <br>メジャーで寸法を測る<br> <br>下げ振りを見る<br> |
| 運搬 | 鋲打ち銃を持って歩く<br> <br>運ぶ部材を選択する<br> <br>部材を持って歩く<br> |
| 移動 | 歩く<br> <br>脚立を乗る<br> |

図.3.2.9　木製壁下地取付け作業の単位作業の分類項目別の作業内容

### ②作業分割

木製壁下地組取付け作業の作業分割は調査したデータに基づき要素作業のレベルまで行った。図.3.2.10 に示すとおり。取付け、加工、計測、運搬、移動の単位作業の分類項目と、それを構成する要素作業に分割した。各要素作業はシーケンス・モデルの分類に合わせて、さらにその内容を分割した。

図.3.2.10　木製壁下地取付け作業の作業分割

### ③MOST シーケンス・モデルの作成

MOST 計算用紙を用いて、分割した各要素作業におけるシーケンス・モデルの分類に基づいて「普通移動」「制限移動」「工具使用」の定義を行った。定義した各内容にシーケンス・モデルを与えて、各モデルのデータカードを参照して、サブアクティビティのインデックス値を決めた。なお、「図面を確認する」「ハンマで取付け部位に部材をあわせる」はインデックス値が設定されてない動作であるため、実測した時間値を用いた。

### ④作業時間の推定式の作成

シーケンス・モデルの分類に基づいてシーケンス・モデルを作成し、インデックス値を与えて、作業時間の推定式を作成した。要素作業別に算出した推定式は表.3.2.4 に示す如く、繰り返される作業内容の回数を変数として、22 個の式を作成した。

表.3.2.4　要素作業別の MOST 作業時間の推定式

| 単位作業の分類項目 | 要素作業 | シーケンス･モデルの分類 | シーケンス･モデル | 作業時間推定式 (単位:秒) |
|---|---|---|---|---|
| 移動 | 歩く | ①手に部材を持ったないで歩く (1－2歩 ) | ①A0 B0 G0 (A3) B0 P0 A0 | $Y_1$=1.08a |
| | 脚立を乗る･降りる | ①脚立を手に取り、位置を合わせる<br>②脚立を乗る、脚立を降りる<br>③脚立を手に取り、戻す | ①A3 B0 G1 A3 B0 P1 A0<br>②A6 B0 G0 A6 B0 P0 A0<br>③A1 B0 G1 A3 B0 P1 A0 | $Y_4$=9.63x |
| 運搬 | 運搬する部材を選択する | ①部材を手に取り、状態を確認する | ①A1 B3 G1 A1 B0 P0 T3 A0 B0 P0 A0 | $Y_2$=3.24x |
| | 部材を手に持って歩く | ①部材を手に持って歩き、部材を置く (1－2歩) | ①A1 B3 G1 (A3) B0 P1 A0 | $Y_3$=1.8+1.08a |
| 計測 | 図面を確認する | ①図面の読む | 実測値 (注) | 実測値を用いる |
| | 差し金で寸法を測り、チェックを入れる | ①差し金を手に取り、寸法を測る<br>②鉛筆を取り、チェックを入れる<br>③差し金と鉛筆を戻す | ①A3 B6 G1 (A3 B0 P1 M16) A0 B0 P0 A0<br>②A1 B0 G1 (A1 B0 P1 R3) A1 B0 P1 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_5$=16.92 +(x-1)*9 |
| | 巻尺を用いて寸法を測る | ①ポケットからメジャーを取り出し、2m以下の寸法を測り、メジャーをポケットに戻す | ①A1 B0 G1 (A1 B0 P1 M32) A1 B0 P1 A0 | $Y_6$=13.68+(x-1)*12.24 |
| | 巻尺を用いて寸法を測り、チェックを入れる | ①ポケットからメジャーを取り出し、2m以下の寸法を測る<br>②鉛筆を取り、チェックを入れ、鉛筆とメジャーを戻す | ①A1 B0 G1 (A1 B0 P1 M32) A1 B0 P1 A0<br>②A1 B0 G1 (A1 B0 P1 R1) A1 B0 P1 A0 | $Y_7$=14.76+(x-1)*13.32 |
| | 部材を当てて寸法を測る | ①手に持った部材を取り付け場所に当てて、寸法を確認する | ①A0 B0 G0 A3 B0 P6 A0 | $Y_8$=3.24x |
| | 寸法のチェックを入れる(上部) | ①鉛筆を取り、上部にチェックを入れ、鉛筆を戻す | ①A1 B0 G1 A1 B0 (P1 R3) A1 B0 P1 A0 | $Y_9$=3.24+(x-1)*1.44 |
| | 寸法のチェックを入れる(中部) | ①鉛筆を取り、中部にチェックを入れ、鉛筆を戻す | ①A1 B0 G1 A1 B0 (P1 R3) A1 B0 P1 A0 | $Y_{10}$=3.24+(x-1)*1.44 |
| | 寸法のチェックを入れる(下部) | ①鉛筆を取り、下部にチェックを入れ、鉛筆を戻す | ①A1 B0 G1 A6 B0 (P1 R3) A1 B0 P1 A0 | $Y_{11}$=5.04+(x-1)*1.44 |
| 加工 | 部材を卓上鋸で切断する(部材を手に持っていない場合) | ①部材を手に取り、鋸の刃に合わせる<br>②鋸の刃を押して、切断する | ①A1 B0 G1 A3 B0 P3 A0<br>②A1 B0 G1 M3 X0 I0 A0 | $Y_{12}$=4.68x |
| | 部材を卓上鋸で切断する(部材を手に持っている場合) | ①鋸の刃に部材を合わせる<br>②鋸の刃を押して、切断する | ①A0 B0 G0 A0 B0 P3 A0<br>②A1 B0 G1 M3 X0 I0 A0 | $Y_{13}$=2.88x |
| | 部材を鋲打ち銃で結合する | ①鋲打ち銃を手に取り、打つ位置を合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③鋲打ち銃を置く | ①A3 B3 G1 A3 B0 (P1) A0<br>②(A1 B0 G0 M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B3 P1 A0 | $Y_{14}$=7.92+(x-1)*1.8 |
| 取付け | ハンマで取付け位置に部材を合わせる | ①ハンマをポケットから取り出し、部材を叩きながら位置を合わせ、ハンマを戻す | 実測値 (注) | 実測値を用いる |
| | 部材を鋲打ち銃で打ち付ける (間柱と台輪、きわ間柱と台輪、方立てと台輪) | ①鋲打ち銃を手に取り、位置を合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③鋲打ち銃を置く | ①A3 B6 G1 A3 B0 (P1) A0<br>②A0 B0 G0 (M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{15}$=9.72+(x-1)*1.44 |
| | 部材を鋲打ち銃で打ち付ける (間柱と土台、きわ間柱と土台、方立てと土台) | ①鋲打ち銃を手に取り、屈んで位置を合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③鋲打ち銃を置く | ①A3 B6 G1 A3 B6 (P1) A0<br>②A0 B0 G0 (M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{16}$=11.88+(x-1)*1.44 |
| | 部材を鋲打ち銃で打ち付ける (間柱と土台と台輪) | ①鋲打ち銃を手に取り、屈んで位置に合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③立ち上がって鋲打ち銃を位置に合わせる<br>④鋲打ち銃を打つ<br>⑤鋲打ち銃を置く | ①A3 B6 G1 A3 B6 (P1) A0<br>②A0 B0 G0 (M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A0 B3 P1 A0<br>④A0 B0 G0 (M3) X0 I0 A0<br>⑤A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{17}$=14.4+(x-1)*1.44 |
| | 部材を鋲打ち銃で打ち付ける (間柱ときわ間柱、きわ間柱ときわ間柱、方立てときわ間柱) | ①鋲打ち銃を手に取り、屈んで位置を合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③鋲打ち銃を置く | ①A3 B6 G1 A3 B3 (P1) A0<br>②(A1 B0 G0 M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{18}$=11.16+(x-1)*1.8 |
| | 部材を鋲打ち銃で打ち付ける (間柱と横胴縁、上段) | ①鋲打ち銃を手に取り、位置を合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③鋲打ち銃を置く | ①A3 B3 G1 A3 B0 (P1) A0<br>②(A1 B0 G0 M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{19}$=9+(x-1)*1.8 |
| | 部材を鋲打ち銃で打ち付ける (間柱と横胴縁、下段) | ①鋲打ち銃を手に取り、屈んで位置を合わせる<br>②鋲打ち銃を打つ<br>③鋲打ち銃を置く | ①A3 B6 G1 A3 B6 (P1) A0<br>②(A1 B0 G0 M3) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{20}$=12.24+(x-1)*1.8 |
| | 部材をインパクトドライバで打ち付ける (間柱と横胴縁) | ①ドライバを手に取り、ビスをドライバを合わせ、位置に合わせ、ビスを打ち、ドライバを置く | ①A3 B6 G1 (A3 B0 P3 F3) A3 B6 P1 A0 | $Y_{21}$=10.44+(x-1)*3.24 |
| | 部材をタッカ打ちで打ち付ける | ①タッカ打ちを手に取り、位置を合わせる<br>②タッカ打ちを打つ<br>③タッカ打ちを置く | ①A3 B6 G1 A3 B0 (P1) A0<br>②(A1 B0 G0 M1) X0 I0 A0<br>③A0 B0 G0 A3 B6 P1 A0 | $Y_{22}$=9+(x-1)*1.08 |

凡例) Yn：各要素作業のMOST作業時間値
a：作業者の歩数、作業状況によって増える
x：繰り返される作業動作の回数
( )：繰り返される作業動作
◯：重なる動作であるため作業時間に含まない作業動作

(注) 作業内容を適切に表すMOSTシーケンスモデルが存在しないため、実測作業時間値を用いて作業時間推定を行う

### ⑤作業フローの作成

対象とした作業は部材の 1 本ごとに単位作業を繰り返し行ったため、作業フローは 1 本の部材の取付けをまとまり作業として、要素作業のレベルで作成した。図.3.2.11 には作成した木製壁下地取付け作業の作業フローを示す。図に示す如く、作業フローを用いてまとまり作業を構成する要素作業と作業条件を決める。

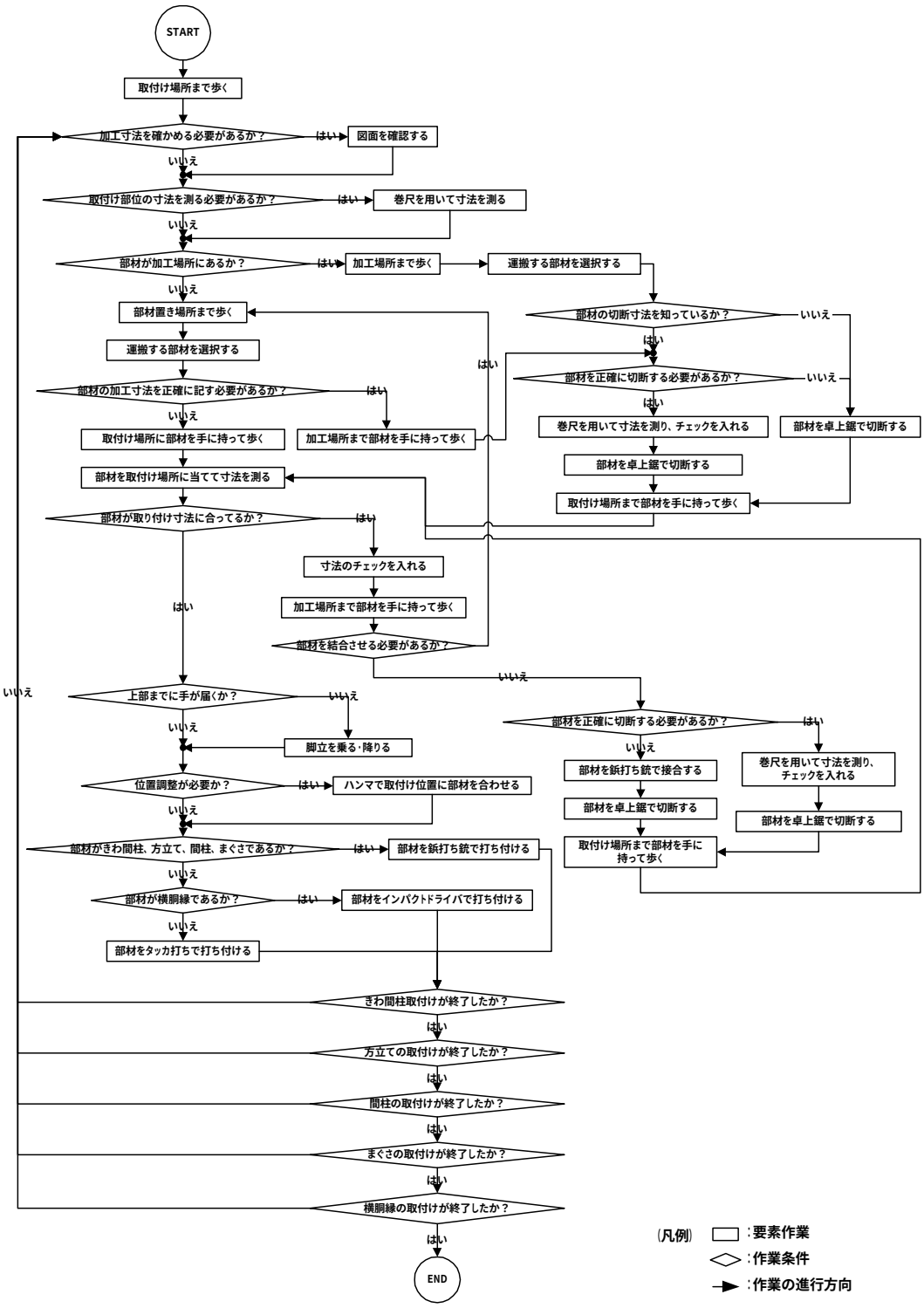



図.3.2.11　木製壁下地取付け作業の作業フロー

### ⑥要素作業の発生回数の実測

1本の部材の取付け作業における要素作業と繰り返し行った動作の発生回数を測定した.測定対象は図3.2.12に示す如く、200本の壁下地の部材を対象に行った。表.3.2.5と表3.2.6には測定した要素作業の発生回数と作業時間の実測値を示す。

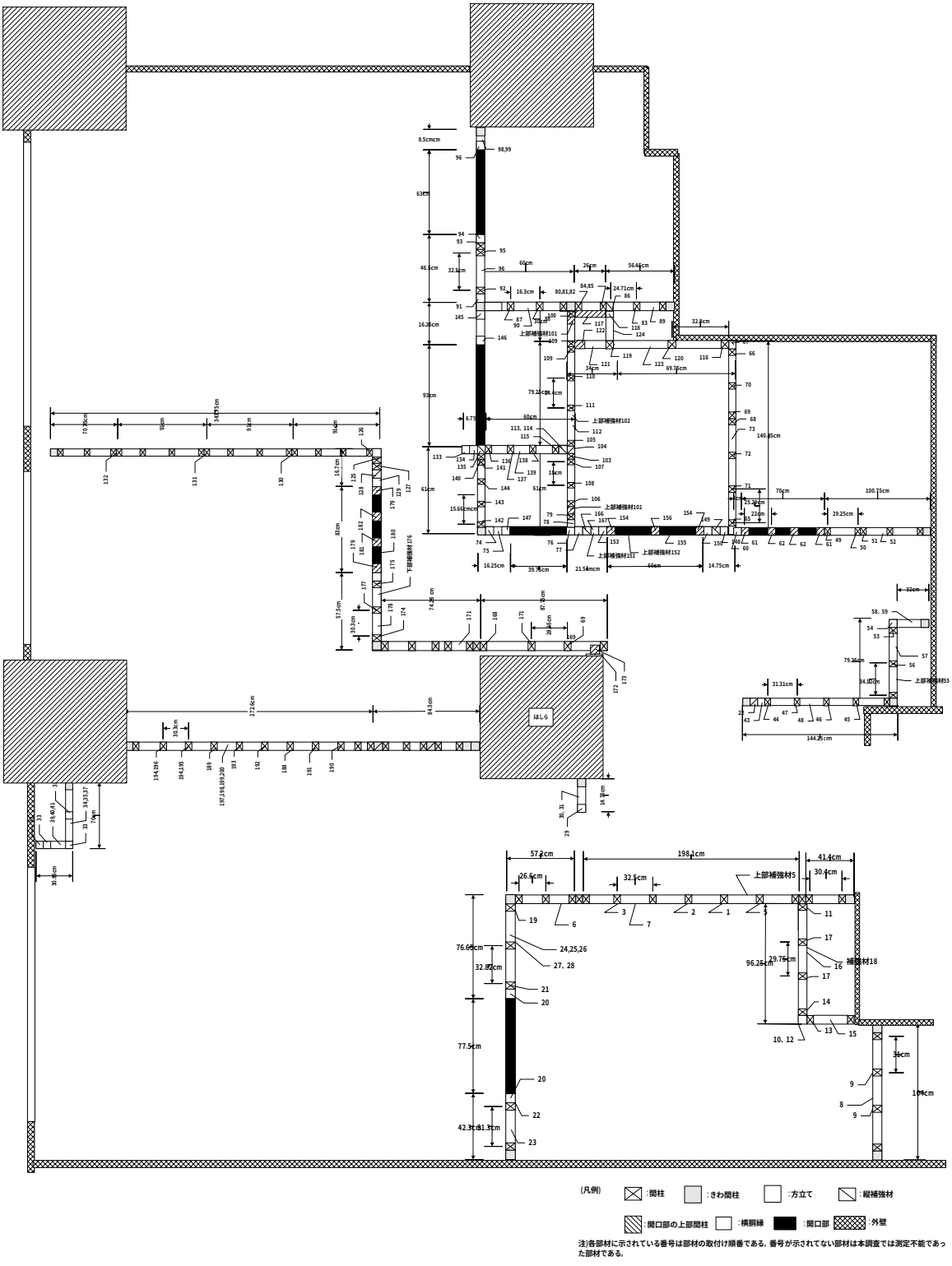



図.3.2.12　各部材の取付け状態

表.3.2.5　測定した要素作業の発生回数と作業時間の実測値(部材 1 から 100 まで)

| 部材番号 | 移動 | | 運搬 | | 計測 | | | | | | | | 加工 | | | 取付け | | | | | | | | | | | | | | | | 実測作業時間 (秒) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 歩く | 脚立を乗る・降りる | 運搬する部材を選択する | 部材を手に持って歩く | 図面を確認する | 差し金で寸法を測り、チェックを入れる | メジャーを用いて寸法を測る | メジャーを使って寸法を測り、チェックを入れる | 部材を当てて寸法を測る | 寸法のチェックを入れる（上部） | 寸法のチェックを入れる（中部） | 寸法のチェックを入れる（下部） | 部材を卓上鋸で切断する | 部材を脚打ち就で接合する | ハンマで取付け位置に部材を合わせる | 部材を脚打ち就で打ち付ける | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 部材を手に持っていない場合 | 部材を手に持っている場合 | | 上段 | 下段 | 間柱と台輪 | 間柱と土台 | 間柱と土台と台輪 | 間柱と横胴縁、上段 | 間柱と横胴縁、下段 | 間柱ときわ間柱 | きわ間柱と台輪 | きわ間柱と土台 | きわ間柱ときわ間柱 | 方立てと台輪 | 方立てと土台 | 方立てときわ間柱 | 部材をインパクトドライバで打ち付ける | 部材をタッカ打ちで打ち付ける | |
| | 歩数 (歩) | 回数 (回) | 回数 (回) | 歩数 (歩) | 時間 (秒) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 本数 (本) | 時間 (秒) | 時間 (秒) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | |
| 1 | 7 | 1 | 3 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5.7 | 6.65 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 103.67 |
| 2 | 7 | 1 | 2 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4.58 | 6.35 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.26 |
| 3 | 7 | 1 | 1 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4.92 | 4.56 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66.99 |
| 4 | 8 | 1 | 1 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 67.08 |
| 5 | 7 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64.45 |
| 6 | 7 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 50.24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83.59 |
| 7 | 5 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 36.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 0 | 235.63 |
| 8 | 12 | 1 | 2 | 14 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 26.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 112.07 |
| 9 | 10 | 1 | 3 | 10 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.31 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74.61 |
| 10 | 9 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42.22 |
| 11 | 6 | 1 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80.43 |
| 12 | 9 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10.68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114.59 |
| 13 | 9 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62.44 |
| 14 | 9 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.89 |
| 15 | 10 | 0 | 2 | 10 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 87.41 |
| 16 | 10 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 119.91 |
| 17 | 11 | 0 | 2 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.88 |
| 18 | 10 | 1 | 1 | 15 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 116.21 |
| 19 | 8 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3.89 | 7.63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 116.2 |
| 20 | 7 | 0 | 2 | 4 | 7.62 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49.37 |
| 21 | 2 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 10.4 | 22.52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 7 | 0 | 132.1 |
| 22 | 3 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 9.49 | 1.91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 | 0 | 105.55 |
| 23 | 8 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 102.17 |
| 24 | 8 | 0 | 2 | 13 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 92.96 |
| 25 | 3 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.02 |
| 26 | 0 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.26 |
| 27 | 6 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 14.47 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75.8 |
| 28 | 6 | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6.02 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71.98 |
| 29 | 6 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3.89 | 4.72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 108.1 |
| 30 | 5 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40.86 |
| 31 | 5 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34.61 |
| 32 | 7 | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 15 | 0 | 117.9 |
| 33 | 0 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 8.23 | 2.71 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76.53 |
| 34 | 3 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8.46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57.48 |
| 35 | 1 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35.95 |
| 36 | 8 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41.4 |
| 37 | 1 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42.44 |
| 38 | 3 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 13.49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.32 |
| 39 | 1 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 43.99 |
| 40 | 1 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 37.52 |
| 41 | 12 | 1 | 1 | 12 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 8.03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 109.75 |
| 42 | 5 | 0 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.56 |
| 43 | 13 | 0 | 2 | 13 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4.93 | 8.73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 111.67 |
| 44 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5.98 | 9.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.81 |
| 45 | 8 | 0 | 3 | 11 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58.43 |
| 46 | 1 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.52 | 4.93 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.43 |
| 47 | 1 | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5.68 | 6.08 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77.2 |
| 48 | 5 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10.32 | 8.34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 132.9 |
| 49 | 1 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 81.23 |
| 50 | 8 | 0 | 2 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42.63 |
| 51 | 1 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.41 | 11.44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101.58 |
| 52 | 6 | 1 | 2 | 15 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 33.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 155.13 |
| 53 | 6 | 0 | 4 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.45 |
| 54 | 12 | 1 | 1 | 12 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 6.43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 172.48 |
| 55 | 10 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 148.19 |
| 56 | 10 | 0 | 1 | 20 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4.57 | 3 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 126.46 |
| 57 | 10 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 9.01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 18 | 118.14 |
| 58 | 1 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52.7 |
| 59 | 1 | 1 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.8 |
| 60 | 3 | 1 | 2 | 13 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.75 |
| 61 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.62 |
| 62 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60.51 |
| 63 | 6 | 1 | 2 | 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 89.55 |
| 64 | 5 | 0 | 2 | 11 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27.88 |
| 65 | 4 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6.93 | 4.81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102.37 |
| 66 | 4 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.61 |
| 67 | 3 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.2 | 7.49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76.15 |
| 68 | 3 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32.84 |
| 69 | 3 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.43 | 8.36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69.19 |
| 70 | 3 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42.27 |
| 71 | 3 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 13.23 | 4.28 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.89 |
| 72 | 3 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2.53 | 10.66 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 89.5 |
| 73 | 7 | 1 | 2 | 9 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 13.53 | 17.65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 | 203.82 |
| 74 | 3 | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.23 |
| 75 | 0 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55.36 |
| 76 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8.72 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 82.39 |
| 77 | 4 | 1 | 1 | 13 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83.89 |
| 78 | 4 | 0 | 1 | 13 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56.26 |
| 79 | 3 | 0 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57.26 |
| 80 | 12 | 0 | 2 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.67 |
| 81 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24.49 |
| 82 | 0 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.59 |
| 83 | 11 | 1 | 2 | 18 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5.14 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.07 |
| 84 | 11 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22.13 |
| 85 | 4 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49.76 |
| 86 | 0 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2.75 | 8.34 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93.71 |
| 87 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 7.35 | 3.96 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.35 |
| 88 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2.2 | 4.11 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37.53 |
| 89 | 7 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2.96 | 4.96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 100.32 |
| 90 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10.99 | 5.26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 132.79 |
| 91 | 10 | 0 | 9 | 11 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 113.76 |
| 92 | 1 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5.33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41.59 |
| 93 | 1 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.89 |
| 94 | 5 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.94 | 6.93 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 8 | 0 | 65.16 |
| 95 | 8 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 25.2 |
| 96 | 7 | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2.32 | 7.69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 67.6 |
| 97 | 10 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 8.86 | 4.22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 79.41 |
| 98 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.18 |
| 99 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102.59 |
| 100 | 9 | 1 | 2 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.54 |

表.3.2.6　測定した要素作業の発生回数と作業時間の実測値(部材 101 から 200 まで)

| 部材番号 | 移動 | | 運搬 | | 計測 | | | | | | | | 加工 | | | 取付け | | | | | | | | | | | | | | | | 実測作業時間 (秒) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 歩く | 脚立を乗る・降りる | 運搬する部材を選択する | 部材を手に持って歩く | 図面を確認する | 差し金で寸法を測り、チェックを入れる | メジャーを用いて寸法を測る | メジャーをで寸法を測り、チェックを入れる | 部材を当て寸法を測る | 寸法のチェックを入れる（上部） | 寸法のチェックを入れる（中部） | 寸法のチェックを入れる（下部） | 部材を卓上器で切断する | | 部材を鋲打ち就で接合する | ハンマで取付け位置に部材を合わせる | 部材を鋲打ち就で打ち付ける | | | | | | | | | | | | | 部材をインパクトドライバで打ち付ける | 部材をタッカ打ちで打ち付ける | |
| | | | | | | | | | | | | | 部材を手に持っていない場合 | 部材を手に持っている場合 | | 上段 | 下段 | 間柱と台輪 | 間柱と土台 | 間柱と土台と台輪 | 間柱と横胴縁、上段 | 間柱と横胴縁、下段 | 間柱ときわ間柱 | きわ間柱と台輪 | きわ間柱と土台 | きわ間柱ときわ間柱 | 方立てと台輪 | 方立てと土台 | 方立てときわ間柱 | | |
| | 歩数 (歩) | 回数 (回) | 回数 (回) | 歩数 (歩) | 時間 (秒) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 回数 (回) | 本数 (本) | 時間 (秒) | 時間 (秒) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | 本数 (本) | |
| 101 | 8 | 1 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37.82 |
| 102 | 10 | 1 | 2 | 13 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74.63 |
| 103 | 7 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.69 |
| 104 | 9 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54.23 |
| 105 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 96.61 |
| 106 | 5 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.95 | 5.96 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94.33 |
| 107 | 5 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.65 |
| 108 | 5 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3.63 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54.03 |
| 109 | 5 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7.96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.76 |
| 110 | 5 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27.88 |
| 111 | 5 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 9.47 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65.96 |
| 112 | 5 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 15.31 | 16.49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 161.99 |
| 113 | 6 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.69 |
| 114 | 3 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.82 |
| 115 | 5 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 7.69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80.3 |
| 116 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56.35 |
| 117 | 10 | 0 | 1 | 10 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39.17 |
| 118 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64.56 |
| 119 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.46 |
| 120 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.71 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.66 |
| 121 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.82 |
| 122 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63.84 |
| 123 | 7 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4.95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 98.09 |
| 124 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.93 |
| 125 | 7 | 1 | 4 | 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8.57 | 5.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 145.39 |
| 126 | 7 | 1 | 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59.18 |
| 127 | 7 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6.85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 111.51 |
| 128 | 7 | 1 | 4 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.63 |
| 129 | 7 | 1 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 5.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.56 |
| 130 | 8 | 1 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 9 | 4.41 | 8.56 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107.66 |
| 131 | 2 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 9 | 3.83 | 4.78 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83.8 |
| 132 | 2 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 8 | 6.98 | 7.09 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.8 |
| 133 | 8 | 0 | 5 | 9 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2.86 | 5.99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 7 | 0 | 0 | 121.83 |
| 134 | 6 | 0 | 2 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49.71 |
| 135 | 4 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.72 |
| 136 | 6 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4.54 | 4.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 88.62 |
| 137 | 6 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3.07 | 3.7 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66.17 |
| 138 | 6 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2.47 | 3.19 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42.32 |
| 139 | 0 | 0 | 2 | 6 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 93.57 |
| 140 | 13 | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1.65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 88.16 |
| 141 | 0 | 0 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.55 | 1.99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51.4 |
| 142 | 6 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5.09 | 4.92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93.73 |
| 143 | 1 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4.19 | 4.31 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40.19 |
| 144 | 1 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39.16 |
| 145 | 10 | 0 | 2 | 12 | 11.5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3.23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84.89 |
| 146 | 2 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7.36 | 5.49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 49.21 |
| 147 | 8 | 1 | 1 | 10 | 26.26 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7.53 | 2.23 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.63 |
| 148 | 10 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 70.44 |
| 149 | 7 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68.08 |
| 150 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 81.27 |
| 151 | 7 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55.26 |
| 152 | 6 | 1 | 1 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48.81 |
| 153 | 10 | 1 | 2 | 11 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6.66 | 4.51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 116.48 |
| 154 | 7 | 1 | 3 | 7 | 0 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.7 |
| 155 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.26 |
| 156 | 7 | 1 | 1 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.76 |
| 157 | 10 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 68.22 |
| 158 | 6 | 1 | 1 | 10 | 6.98 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8.13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 84.94 |
| 159 | 10 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.51 |
| 160 | 10 | 1 | 3 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.8 |
| 161 | 10 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57.77 |
| 162 | 1 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6.23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47.56 |
| 163 | 3 | 1 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 8.22 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64.14 |
| 164 | 1 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4.79 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.56 |
| 165 | 1 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2.58 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37.87 |
| 166 | 7 | 0 | 1 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28.05 |
| 167 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32.46 |
| 168 | 5 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 23.76 |
| 169 | 5 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2.21 | 4.57 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.93 |
| 170 | 1 | 0 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.82 | 2.43 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38.82 |
| 171 | 5 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 12.36 | 11.23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 179.07 |
| 172 | 7 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.69 |
| 173 | 6 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.43 |
| 174 | 8 | 1 | 1 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4.37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76.86 |
| 175 | 11 | 1 | 4 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 5.81 | 8.07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 8 | 0 | 0 | 140.23 |
| 176 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.62 |
| 177 | 1 | 1 | 1 | 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 4.19 | 4.46 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.5 |
| 178 | 5 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 69.46 |
| 179 | 5 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60.9 |
| 180 | 7 | 1 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68.99 |
| 181 | 5 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.41 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46.11 |
| 182 | 1 | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2.53 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.64 |
| 183 | 1 | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8.11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.49 |
| 184 | 7 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.7 |
| 185 | 7 | 1 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58.31 |
| 186 | 6 | 1 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4.58 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50.65 |
| 187 | 1 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43.31 |
| 188 | 4 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5.06 | 4.43 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38.94 |
| 189 | 4 | 0 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6.58 | 10.23 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53.12 |
| 190 | 2 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.93 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27.89 |
| 191 | 2 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3.06 | 1.18 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27.89 |
| 192 | 3 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4.48 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28.7 |
| 193 | 2 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 7.25 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32.3 |
| 194 | 3 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41.56 |
| 195 | 3 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2.73 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34.44 |
| 196 | 6 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5.13 | 3.14 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35.14 |
| 197 | 7 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 34.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 123.36 |
| 198 | 1 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7.52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 46.5 |
| 199 | 1 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 31.27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 103.23 |
| 200 | 1 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 61.56 |

### ⑦作業時間の推定値の算出

各部材の取付け作業における要素作業の発生回数の実測値と作業時間の推定式を用いて作業時間の推定値を算出した。表.3.2.7　に部材 1 本当りの作業時間の実測値と推定値の平均、標準偏差、実測値に対する推定値の割合を示す。表に示す如く、実測した取付け作業の 1 本当りの平均作業時間は 69.7 秒/本である。取付けの部位別には、鋲打ち銃とタッカーを用いる場合は概ね 59 秒/本から 66 秒/本の平均値を示している。インパクトドライバを用いる場合は、他の部位に比較して取付けのための位置会わせとビスを回す作業が長くなるため、117.17 秒/本と長くなっている。

作業時間における推定値と実測値の平均を比較すると、全部材の場合は推定値が実測値よる 4.72%高い結果を示している。取付けの部位別は、図.3.2.13 に示す如く、鋲打ち銃を用いる場合は推定値が高い結果を示し、インパクトドライバを用いる場合は推定値が低い結果を示している。その理由として、設定した機械使用のシーケンス・モデルのインデックス値に対して実際の作業者の鋲打ち銃を使用するための準備である「位置あわせ」「機械の準備」に要する時間が短く、インパクトドライバを使用するための準備は長くなっていることが挙げられる。

表.3.2.7　部材 1 本当りの作業時間の実測値と推定値の平均と標準偏差

| 取付け部位 | 部材本数(本) | 実測値 | | 推定値 | | 実測値に対する推定値の割合 a/b*100(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1本当りの平均時間値(秒/本) b | 標準偏差(秒/本) | 1本当り平均時間値(秒/本) a | 標準偏差(秒/本) | |
| 鋲打ち銃で間柱、きわ間柱、方立てを台輪と土台に取付ける | 65 | 61.64 | 26.79 | 71.91 | 24.89 | 116.66 |
| 鋲打ち銃で間柱、きわ間柱、方立てをお互い取付ける | 81 | 66.44 | 34.06 | 66.80 | 30.09 | 100.54 |
| 鋲打ち銃で横胴縁、まぐさを間柱と方立てに取付ける | 28 | 59.45 | 29.62 | 61.06 | 27.92 | 102.71 |
| インパクトドライバで横胴縁を間柱に取り付ける | 23 | 117.17 | 45.36 | 111.74 | 34.19 | 95.37 |
| タッカで横胴縁を間柱に取付ける | 3 | 63.75 | 39.97 | 77.56 | 45.79 | 121.66 |
| 合計 | 200 | 69.70 | 36.89 | 72.99 | 32.08 | 104.72 |

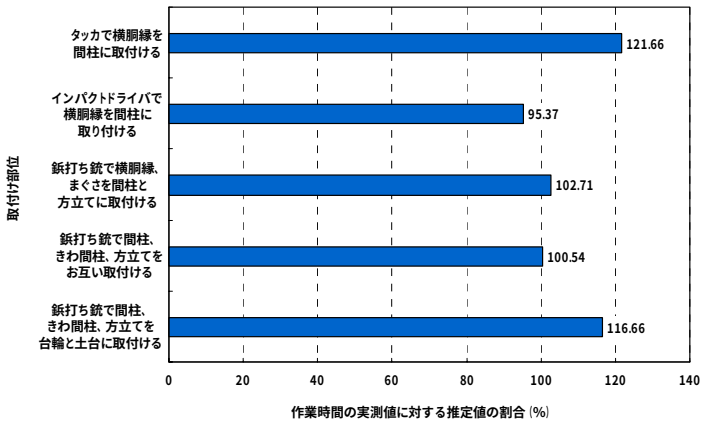



図.3.2.13　取付けの部位別の作業時間の実測値に対する推定値の割合

**⑧推定値の有効性の検討**

推定方法の有効性を検討するために、取付けの部位別に作業時間の実測値と推定値の相関関係を求めた。全部材における実測値と推定値の関係は図.3.2.14 に示す如く、相関係数は 0.82 である。間柱、きわ間柱、方立てを台輪と土台に鋲打ち銃で取付けは図.3.2.15 に示す如く、相関係数が 0.82 である。間柱、きわ間柱、方立てをお互い鋲打ち銃で取付けは図.3.2.16 示す如く、相関係数が 0.91 である。横胴縁、まぐさを間柱と方立てに鋲打ち銃で取付けは図.3.2.17 に示す如く、相関係数が 0.79 である。横胴縁、まぐさを間柱と方立てにインパクットドライバで取付けは図.3.2.18 に示す如く、相関係数は 0.83 である。

以上の結果の如く、作業時間の実測値と推定値の相関係数は概ね 0.8 以上であり、提案した MOST 方法を用いた作業時間の推定方法は有効であると考えられる。

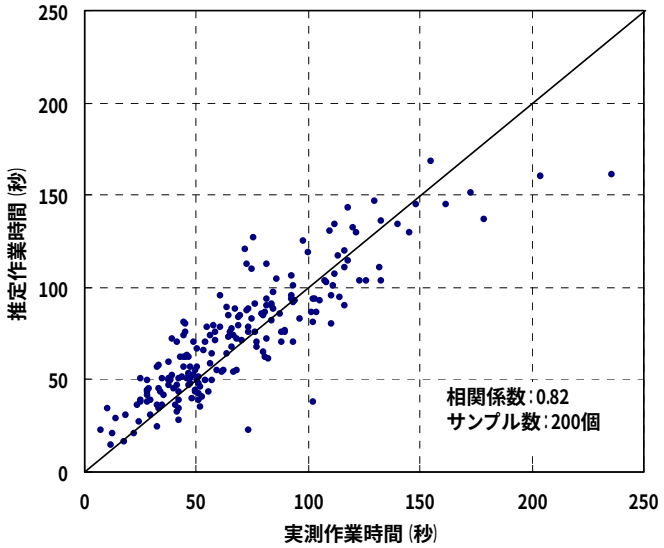



図.3.2.14　全部材の取付けにおける作業時間の実測値と推定値の関係

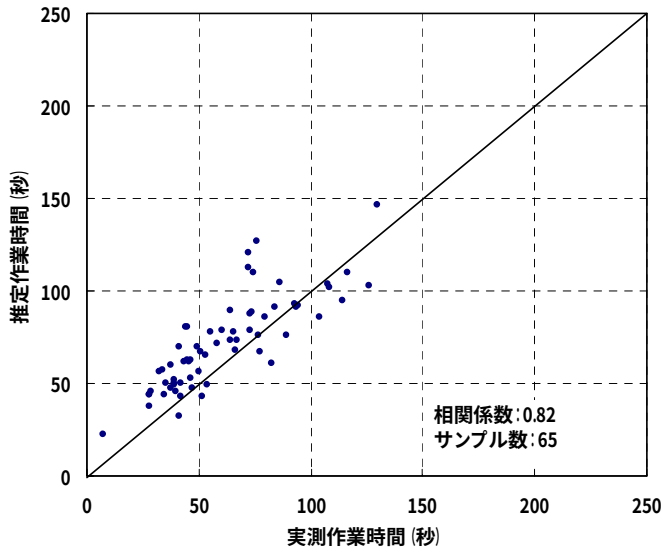



図.3.2.15　鋲打ち銃で間柱、きわ間柱、方立てを台輪と土台に取付けにおける関係

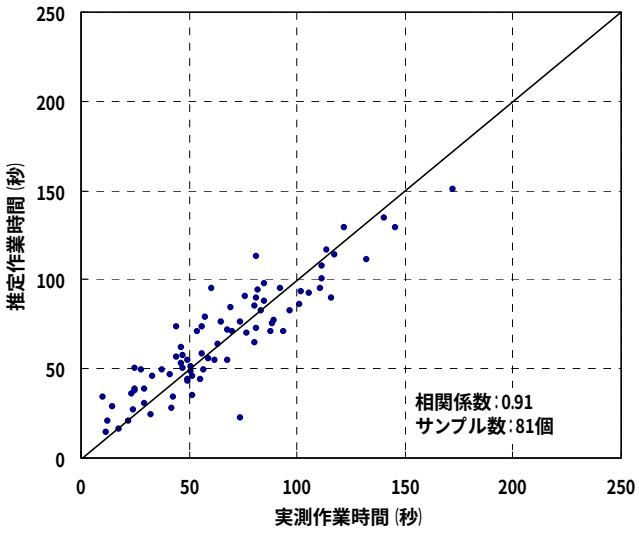



図.3.2.16　鋲打ち銃で間柱、きわ間柱、方立てをお互い取付けにおける関係

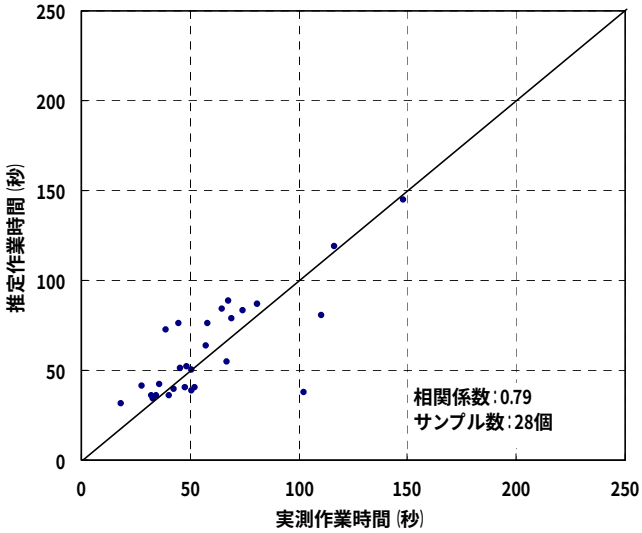



図.3.2.17　鋲打ち銃で横胴縁、まぐさを間柱と方立てに取付けにおける関係

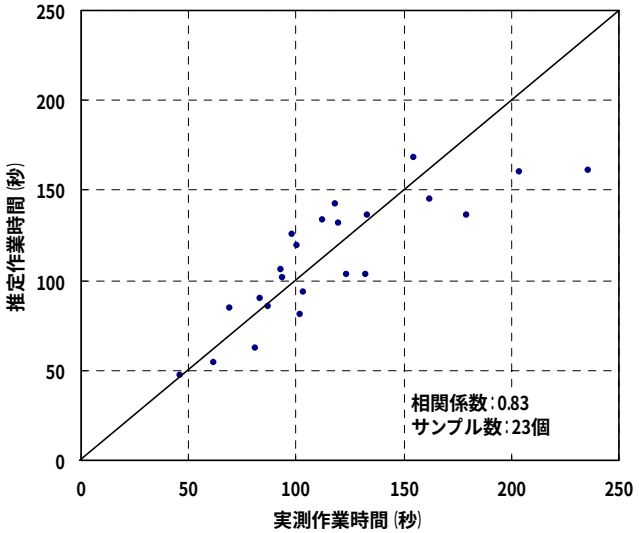



図.3.2.18　インパクトドライバで横胴縁、まぐさを間柱と方立てに取付けにおける関係

### 3.2.4.結

作業を作業者の動作を用いて分析し、時間を推定する既存の方法と問題点を述べた。作業者の動作を作業時間の推定に用いる場合、作業条件によって変化する作業の内容を推定するための方法の必要性を指摘した。PTS 法である MOST 手法におけるシーケンス・モデルを用いて作成した（図.3.2.2 参照）作業時間の推定式による要素作業レベルの作業時間の推定方法を提案し、その手順を示した（図.3.2.1 参照)。推定式の作成における MOST－計算用紙を用いたインデックス値の設定方法の事例を示した（図.3.2.2 参照)。また、単位作業レベルの時間値は、構成する要素作業の作業時間の推定値を合計して算出する方法を提案した。作業条件による単位作業を構成する要素作業の内容を推定するために、要素作業の選択の関係を具現化する作業フローの作成方法を提案した。（図.3.2.3 参照）

提案した推定方法の適用を検討するために、木製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて作業の分割を行い（図.3.2.10 参照)、要素作業レベルの作業時間の測定を行った。要素作業における作業者の動作を分析し、シーケンス・モデル作成し、インデックス値を与え作業時間の推定式を作成した。その結果、分類したシーケンス・モデルは単位動作のレベルであることを確認した。（表.3.2.4 参照）

作成した推定式に実測した要素作業の発生回数(表.3.2.5、表.3.2.6 参照)を代入し、1 本の部材の(表.3.2.12 参照)取付けにおける要素作業の作業時間の推定を行った。また、要素作業レベルの作業フローを作成した。（図.3.2.1 参照）

推定式を用いて算出した取付け作業の作業時間の推定値と実測値の相関係数は 0.82 であった。（図.3.2.14 参照）その結果、作業者の動作に基づいた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。また、取付けの部材別による作業時間の推定値の誤差への影響を検討するため、各部材を 4 つのカテゴリーに分類して作業時間の推定値と実測値の相関関係を求めた。以下の項目に求めた相関係数を示す。

① 間柱、きわ間柱、方立てを台輪と土台に鋲打ち銃で取付ける：0.82（図.3.2.15 参照）
② 間柱、きわ間柱、方立てをお互い鋲打ち銃で取付ける：0.91（図.3.2.16 参照）
③ 横胴縁、まぐさを間柱と方立てに鋲打ち銃で取付ける：0.79(（図.3.2.17 参照）
④ 横胴縁、まぐさを間柱と方立てにインパクトドライバで取付ける：0.83(図.3.2.18 参照)

その結果、位置の合わせの精度が要求される取付け場合は「戸惑い」「考える」などの要素が多く含まれるため、推定の誤差が多く生じることを明らかにした。

以上の検討結果から、提案した推定方法を用いた作業時間の推定値は有効であることを確認した。

### 3.3.作業の条件に基づいた作業時間の推定

#### 3.3.1.条件と作業時間の関係

作業における条件とは、作業時間を決める様々な要因である。作業の条件は、その性質によって「数量的条件」と「質的条件」に分類することが出来る。数量的条件とは、「運ぶスタッド材の本数」「石膏ボード取付けに用いたビスの本数」「巻尺で測った回数」など数えることができるデータである。質的条件とは、「電動ドリルでビスを打つため作業者の腰の曲がり程度」「スタッドを運ぶために、選択を行うか行わないかの有無」「ボード取付け部位の平面の状態」など数えることができないデータである。

現在、重回帰分析を用いた作業の条件と作業時間に関する研究は多く行われているが、作業における施工量と作業時間の関係の説明にとどまり、作成した重回帰式を用いた作業時間の推定方法に関する事例は少ない。その理由として、「分析の信頼性を得るために必要な作業時間の実績値の測定が行われていないこと」「作業の条件とする項目が多く存在し、その選択が難しいこと」を挙げられる。そのため、作業の条件を用いた作業時間の推定を行うには、繰り返して作業時間の測定が可能な作業のレベルの設定と、適切な作業の条件を設定するための方法が不可欠である。

そこで、作業の条件を数量的条件と質的条件に区分し、設定するための作業測定の方法を提案する。また、数量的条件と作業時間を用いて重回帰分析を行い、作成した重回帰式による単位作業レベルにおける作業時間の推定方法を提案し、その適用の検討を行う。更に、数量的条件のみでは説明できない単位作業の作業時間に関しては、質的条件から数量化Ⅰ類を用いた推定式を作成する作業時間の推定方法を提案し、その適用の検討を行うことを目的とする。

#### 3.3.2.数量的・質的条件に基づいた作業時間の推定方法

**①数量的条件に基づいた作業時間の推定方法**

単位作業の数量的条件と作業時間の因果関係は重回帰分析を用いて明らかにする。その結果から作成した推定式を用いて単位作業の作業時間を推定する。また、作業の内容に基づいて作業フローを作成して単位作業間の関係を明確にし、構成する単位作業を選択することによってまとまり作業の作業時間の推定を行う。

数量的条件を用いた作業時間の推定の手順を図 3.3.1 に示す。図に示すごとく、手順 1 では、推定の対象とする作業の実態調査を行い、作業場の条件、部材の属性、使用する道具、作業方法などを把握する。手順 2 では、把握した作業内容に基づいて、まとまり作業を取付け・加工・計測・移動・運搬の単位作業の分類項目に基づいて分割し、単位作業を

要素作業に分割する。要素作業に含まれる内容は単位動作を用いて定義する。

手順 3 では、定義した要素作業の内容に合わせて作業時間の実測値の測定を行い、単位作業のレベルに纏める。手順 4 では、まとまり作業レベルで数量的条件である、数えることができる「部材の長さ」「ビスの個数」「歩く歩数」「切断回数」などの実測値を測定する。手順 5 では、手順 3 で実測した単位作業の作業時間を説明する手順 4 の数量的条件を選択する。数量的条件は作業内容に基づいて作業時間と最も関係があると思われる 2－3 個を選択する。しかし、その数が多い場合は数学的方法として変量減少法、変量増加法、総当り法などを用いて選択する。

手順 6 では、単位作業の作業時間と選択した数量的条件の実測値を用いて重回帰分析を行い、重回帰式を作成する。また、要素作業の内容によって単位作業の作業時間が変動する場合は、要素作業ごとに重回帰式を作成する。作成した重回帰式を用いて単位作業の作業時間を算出するためには、要素作業の作業フローを作成し、実行する作業内容を明確にする。手順 7 では、まとまり作業における単位作業の作業フローを用いて、構成する作業内容を推定する。作業フローの作成は 3.2.2 項の方法を用いる。手順 8 では、作成した重回帰式を用いて単位作業の作業時間を算出する。

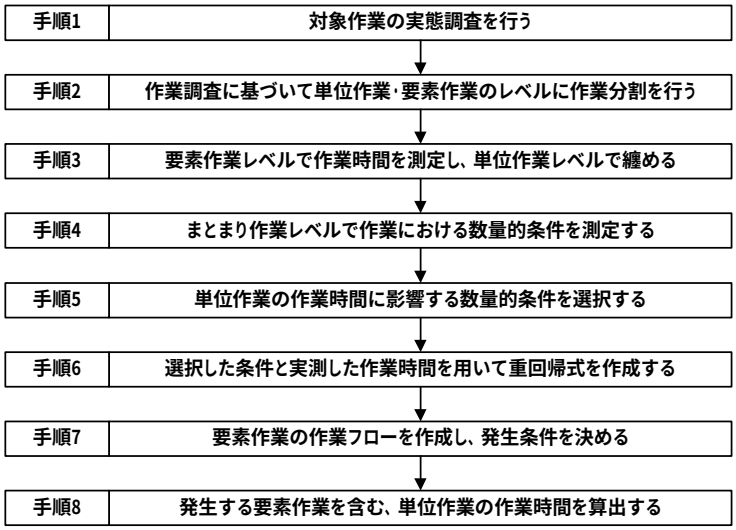



図.3.3.1.数量的条件を用いた作業時間の推定の手順

まとまり作業の作業時間値は構成する単位作業の重回帰式を用いて算出した作業時間の推定値を合計して算出する。式.3.3.1 はまとまり作業の作業時間の推定式を示す。式に示す如く、まとまり作業の作業時間 $Y$ は構成する単位作業 $y_i$ を合計して算出する。式.3.3.2 には単位作業の作業時間値の算出式を示す。式に示す如く、単位時間の作業時間 $y_i$ は重回帰式の数量的条件である説明変数 $x_{ip}$ と係数 $a_{ip}$ の乗の合計に定数項 $a_{i0}$ を足して算出する。

$$Y = \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad \cdots\cdots \text{（式.3.3.1)}$$

$$y_i = a_{i1}x_i + a_{i2}x_{i2} + \cdots\cdots + a_{ip}x_{ip} + a_{i0} \qquad \cdots\cdots \text{（式.3.3.2）}$$

$Y$：まとまり作業の作業時 間の推定値
$y_i$: まとまり作業を構成す る$i$番目の単位作業の作業 時間の推定値
$n$：まとまり作業を構成す る単位作業の数
$i$：単位作業の実行順番
$a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{ip}$: 単位作業$y_i$の作業時間の推定式の 回帰係数
$a_{i0}$: 単位作業$y_i$の作業時間の推定式の 定数項
$x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{ip}$: 単位作業$y_i$の作業時間の推定式の 説明変数
$p$：単位作業$y_i$の説明変数の数

**②質的条件に基づいた作業時間の推定方法**

単位作業の作業時間の推定に有効な数量的条件が特定できない場合、質的条件を用いて推定を行う。質的条件による作業時間の推定は、対象とする単位作業において「作業者の作業姿勢の状態」「部材を扱う位置の関係」「使用する道具の使い方」などを測定し、測定したデータをカテゴリー化して 1 次式を作成し、数量化 I 類手法を用いて 1 次式の変数のカテゴリースコアを求めて推定式を作成する。

数量化方法とは、程度・状態・有無といった質的なデータを用いて結果の解析を行う場合、質的なデータのカテゴリーと結果の関係を 1 次式で作り、この式でデータと結果の関係を説明する方法である。本研究では作業時間の推定を目的とするため、数量化方法の中で数量的な結果の説明に適する数量化 I 類方法を用いる。

数量的条件と質的条件を用いた作業時間の推定の手順を図.3.3.2 に示す。図に示す如く、手順 1 では、推定の対象とする作業の実態調査を行い、作業場の条件、部材の属性、使用する道具、作業方法に加え、作業姿勢の程度、作業状態などを把握する。手順 2 では、調査に基づいて単位作業レベルまで作業分割を行い、それに含まれる内容を定義する。手順 3 では、定義した内容に基づいて、単位作業のレベルで作業時間の測定を行う。

手順 4 では、まとまり作業レベルで数量的条件である、数えることができる「部材の長さ」「ビスの個数」などの実測値を測定する。手順 5 では、重回帰分析を行い、作業時間の実測値と数量的条件の相関関係を求める。手順 6 では、数量的条件から求めた相関関係が低い場合、単位作業の作業時間に関係する質的条件として「作業姿勢の程度」「部材を持つ形態」などを採りあげる。手順 7 では、単位作業を数量的条件に関係する要素作業と質的条件に関係する要素作業に分類する。

手順 8 では、測定した質的条件を説明変量とし、作業時間を目的変量として数量化方法を用いて推定式を求める。手順 9 では、重回帰式を用いて算出した要素作業の作業時間と

数量化方法による推定式を用いて算出した要素作業の作業時間値を合計して単位作業の作業時間を算出する。

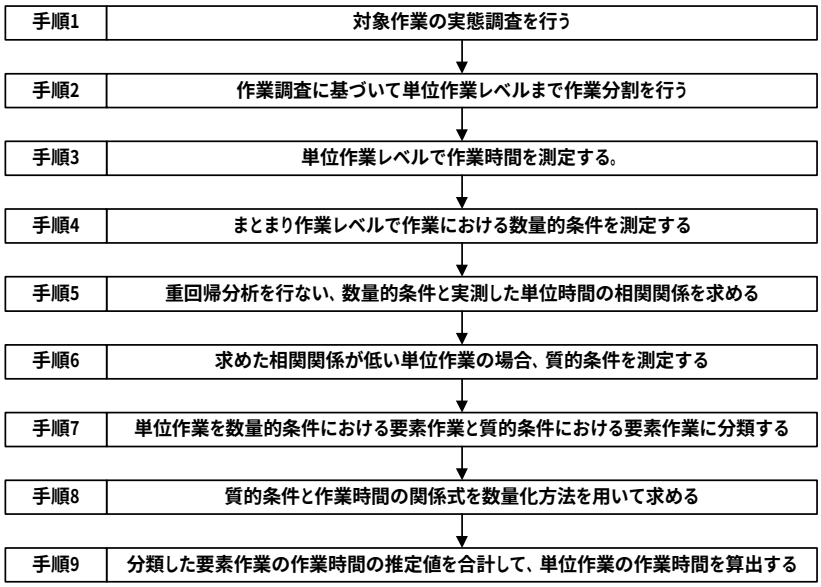



図.3.3.2　数量化手法と回帰分析を用いた作業時間推定の手順

$$Y = \sum_{j=1}^{k} y_j \qquad \cdots\cdots \text{(式.3.4.1)}$$

$$y_j = \sum_{i=1}^{n} A_i + \sum_{l=1}^{m} B_l \qquad \cdots\cdots \text{(式.3.4.2)}$$

$$A_i = a_{i1}x_{i2} + a_{i2}x_{i2} + \cdots\cdots + a_{iq}x_{iq} + a_{i0} \qquad \cdots\cdots \text{(式.3.4.3)}$$

$$B_l = b_{l1} + b_{l2} + \cdots\cdots + b_{lp} + b_{l0} \qquad \cdots\cdots \text{(式.3.4.4)}$$

$Y$：まとまり作業の作業 時間の推定値

$y_j$: まとまり作業を構成 するj番目の単位作業の作業 時間の推定値

$k$：まとまり作業を構成 する単位作業$y_j$の数

$j$：単位作業$y$の実行順番

$A_i$: 単位作業を構成する $i$番目の要素作業の作業 時間の推定値

$B_l$: 単位作業を構成する $l$番目の要素作業の作業 時間の推定値

$n$：単位作業を構成する 要素作業$A_i$の数

$m$：単位作業を構成する 要素作業$B_l$の数

$i$：要素作業$A$の実行順番

$l$：要素作業$B$の実行順番

$a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{iq}$: 要素作業$A_i$の推定式の回帰係数

$a_{i0}$: 要素作業$A_i$の推定式の定数項

$x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{iq}$: 要素作業$A_i$の推定値の説明変数

$b_{l1}, b_{l2}, \cdots\cdots, b_{lp}$: 要素作業$B_l$の推定式カテゴリーの スコア

$b_{l0}$: 要素作業$B_l$の推定式の定数項

まとまり作業の作業時間値は構成する単位作業における重回帰式を用いて算出した要素作業の時間値と数量化Ｉ類方法の推定式を用いて算出した要素作業の時間値の合計であ

る。式.3.4.1 はまとまり作業の作業時間の推定式を示す。式に示す如く、まとまり作業の作業時間 $Y$ は構成する単位作業の作業時間 $y_i$ を合計して算出する。式.3.4.2 は単位作業の作業時間の推定式を示す。式に示す如く、単位作業の作業時間 $y_i$ は構成する要素作業の作業時間 $A_i$ と $B_j$ を合計して算出する。式.3.4.3 は要素作業の作業時間の重回帰式を示す。式に示す如く、要素作業の作業時間 $Ai$ は数量的条件である説明変数 $x_{ip}$ と係数 $a_{ip}$ の乗の合計に定数項 $a_{i0}$ を足して算出する。式.3.4.4 は要素作業の作業時間の推定式を示す。式に示す如く、要素作業の作業時間 $B_j$ はカテゴリーのスコアである $b_{jp}$ の合計に定数項 $b_{j0}$ を足して算出する。

### 3.3.3.石膏ボード張り鋼製壁下地取付け作業における適用

#### ①壁石膏ボード取付け作業における適用

A.壁石膏ボード取付け作業の実態調査

本論文の 2.3.章のＡ工事の 2 階における壁石膏ボード取付け作業を対象に作業時間推定のための実態調査を行った。対象とした間仕切り壁の平面を図.3.3.3 に示す。実態調査の対象は、壁石膏ボードの主体作業を対象として行った。現場での調査は作業者の全作業の動きを連続してビデオカメラを用いて撮影し、撮影した録画画面を研究室に持ち帰って分析を行った

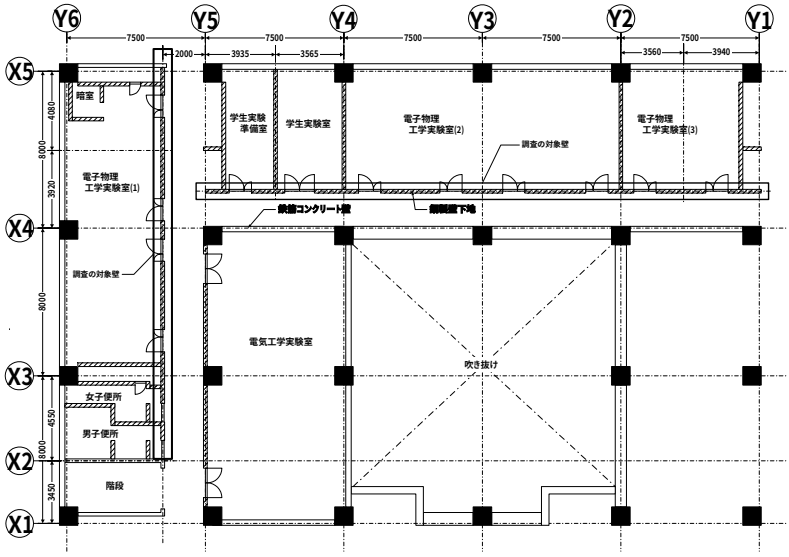



図.3.3.3　調査の対象とした間仕切り壁の平面図(単位：mm)

壁の石膏ボード取付けの構造を図.3.3.4 に示す。図に示す如く、壁の構造は石膏ボードの 2 枚重ね張り鋼製下地中空間間仕切りであった。本調査では、ビス留めによる下張り石膏ボードの取付け作業を分析の対象とした。使用した石膏ボードの寸法は 910mm×

1820mm×12.5mm であった。取付ける部位の壁は高さ 3,620mm×長さ 20,490mm と高さ 3,620mm×長さ 30,00mm の 2 箇所の片面とした。ただし、床から高さ 700mm までの取付けは後続の作業のために仮留めを行ったため、調査の対象からは外した。

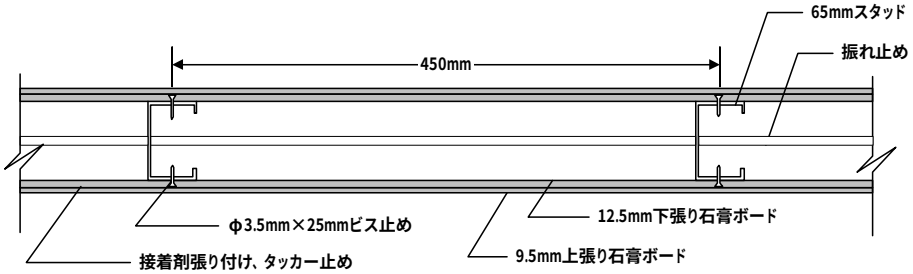



図.3.3.4　調査の対象とした壁石膏ボードの構造(単位：mm)

作業は 2 の作業者が運搬車両から各作業階におけるボードの加工保管場所までにおける搬入を除く、取付け作業の全工程を行った。1 人の作業者は主にボードの加工と運搬を担当し、他の 1 人の作業者は取付けを担当した。対象とした 2 人の作業者は別の現場での作業経験はあったが、本現場における作業は初めてであった。そのため、「図面の読み込み」「ボードの割付」の作業を行った。

取付けは、電気ドリルを用いて鋼製下地に直径 3.5mm、長さ 25mm のビス留めを行った。高さ 2,000mm の足場を利用して上段のボードの取付けを行う場合は、インサートに取付けたボルトに安全帯を掛けってから作業を行った。

加工は、鋸とカッターを用いて取付け位置の寸法に合わせてボードの切断を行った、カッターは切断する形状が直線である場合に使用し、凹凸を含む場合は鋸を使用した。設備の配管パイプが貫通する部分におけるボードは円形に切断する必要があるため、コンパス形の円カッターで 1 度切を行い、鋸で切断を行った。切断した断面は鑢を用いて角を落とし、隣のボード間に取り合いしやすいように処理を行った。

計測は、巻尺を用いて取付け部位の長さの寸法を測った。寸法の記入は、取付けを行う作業者が測った寸法を紙に記入して加工を行う作業者に手渡しをする場合、取付けを行う作業者が測った寸法を読み出すと加工を行う作業者が紙に記入する場合、加工する作業者が寸法を測って記入する場合があった。

運搬は、加工に用いる足場、ボードの保管場所から取付け場所までボードを手に持って運んだ。運搬したボードの置く場所は、足場を使用しない場所は床の上に置き、足場を使用する場合は足場の上に置き、取付けする作業者の手が空いている場合は手渡しをした。足場の運搬は、キャスタが付いていたため手で押しながら運び、固定した。移動は、平坦な床の上を歩き、足場を利用する場合は、上り・下りをした。図.3.3.5 には壁石膏ボード

取付け作業の単位作業の分類項目別の作業内容を示す。

| 単位作業の分類項目 | 作業内容 |
|---|---|
| 移動 | 歩く<br> |
| 運搬 | 手で足場を押して歩く<br> <br>手に部材を持って歩く<br> |
| 計測 | メジャーで寸法を測り、測った寸法を記入する<br> <br>ボードの加工部を記す<br> |
| 加工 | カッターで部材を切断する<br> <br>鋸で部材を切断する<br> <br>鑢で切断部位を処理する<br> |
| 取付け | 部材を取付け位置に合わせる<br> <br>電気ドリルでビスを打つ<br> |
| 安全帯 | 安全帯ををボルトに掛ける<br> |

図.3.3.5　壁石膏ボード取付け作業の単位作業の分類項目別の作業内容

B.作業分割と作業時間の測定範囲の設定

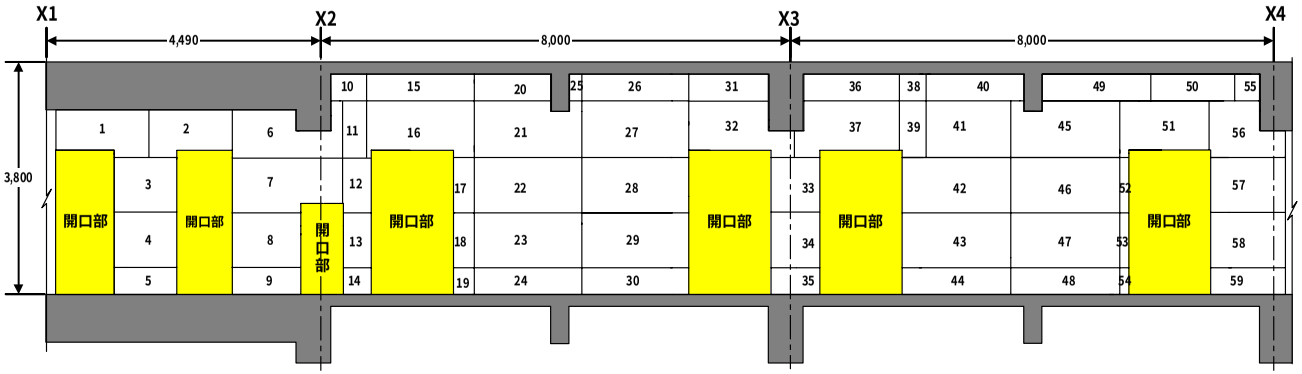
作業時間を推定する対象は1枚の石膏ボード取付け作業を構成する単位作業とした。図.3.3.6 には1枚の石膏ボード取付け作業の単位作業と作業時間の測定範囲を示す。図に示す如く。壁石膏ボード取付け作業を移動、運搬、計測、加工、取付けの単位作業の分類項目に基づいて分割し、推定する作業時間の測定範囲を設定した。

図.3.3.6　石膏ボード取付け作業の単位作業と作業時間の測定範囲

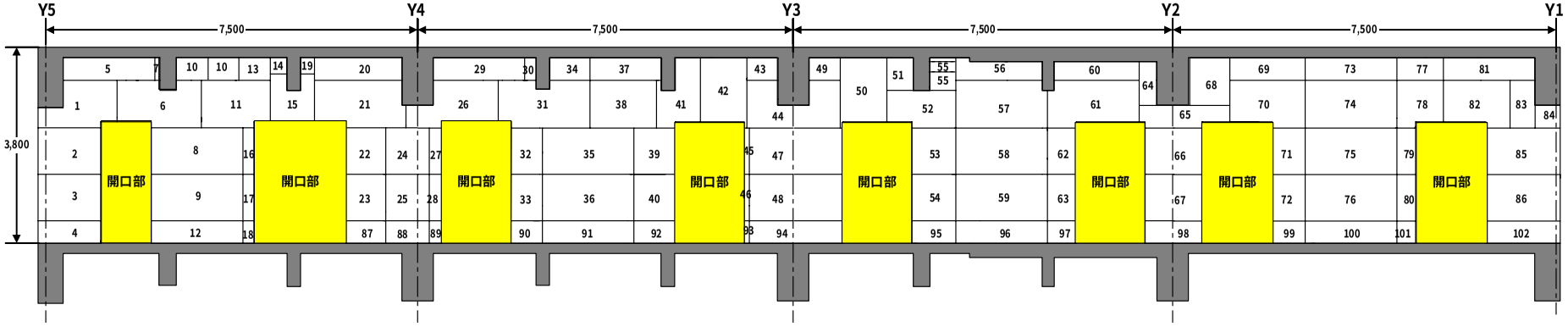
C.作業時間と数量的条件の測定

作業測定の対象とした間仕切壁は図.3.3.3 に示す如く、長さ 20.49mと 30.00m の 2 箇所であった。間仕切り壁の石膏ボードの取付け状態を図.3.3.7 に示す。図に示す如く、床スラブから天井スラブまでの取付けられた片面の石膏ボードを調査の対象とした。ただし、下段の一列は後続の作業のために仮留めを行ったため、調査の対象から外した。

作業時間の測定はボード 1 枚の取付け作業の単位作業を対象に行った。数量的条件の測定は、ボード 1 枚の取付け作業の移動における「歩く歩数」「運搬における歩く歩数」「手に持ったボードの数量」、加工における「直線切断の回数」「円形切断の回数」「歩く歩数」「工具を拾う回数」「切り取る半円の枚数」、取付けにおける「ビスの本数」「分割したボードの枚数」「取付けられたボードの面積」を対象に行った。表.3.3.1 と表.3.3.2 には取付けられた 1 枚のボードに対する単位作業の分類項目における測定した作業時間の実測値の合計および、数量的条件の実測値を示す。




X1－X4軸壁立面図




Y1－Y5壁立面図

図.3.3.7　実測した石膏ボードの取付け状態(単位：mm)

表.3.3.1　取付けられたボードにおける単位作業の作業時間の実測値と数量的条件の実測値(X1 から Y20 まで)

| ボード番号 | 作業時間の実測値 | | | | | | 数量的条件の実測値 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 移動(秒) | 運搬(秒) | 計測(秒) | 加工(秒) | 取付け(秒) | 合計(秒) | 歩く歩数(歩) | 運ぶ歩数(歩) | 手に持って運ぶボードの数(枚) | 直線切断数(箇所) | 円形切断数(箇所) | 加工に含まれる歩く歩数(歩) | 工具を拾う動作の回数(回) | 切り取る半円の個数(個) | ビスの本数(本) | 分割したボードの枚数(枚) | 取付けたボードの面積(m2) |
| x-1 | 7.20 | 21.73 | 242.40 | 187.20 | 196.17 | 654.70 | 13 | 15 | 1 | 4 | 0 | 22 | 6 | 0 | 30 | 1 | 1.128 |
| x-2 | 15.50 | 18.43 | 161.67 | 152.10 | 161.17 | 508.87 | 28 | 16 | 1 | 4 | 0 | 28 | 6 | 0 | 18 | 1 | 1.009 |
| x-3 | 12.37 | 9.03 | 29.33 | 36.03 | 135.33 | 222.09 | 22 | 20 | 1 | 1 | 0 | 12 | 2 | 0 | 20 | 1 | 0.971 |
| x-4 | 24.57 | 12.10 | 41.81 | 27.33 | 70.23 | 176.04 | 37 | 15 | 1 | 4 | 0 | 17 | 2 | 0 | 21 | 1 | 0.971 |
| x-6 | 9.47 | 21.80 | 365.74 | 187.91 | 302.13 | 887.05 | 18 | 14 | 1 | 5 | 1 | 18 | 6 | 0 | 39 | 1 | 1.191 |
| x-7 | 12.43 | 15.63 | 34.39 | 41.93 | 164.16 | 268.54 | 24 | 20 | 1 | 4 | 0 | 5 | 3 | 0 | 34 | 1 | 1.555 |
| x-8 | 15.50 | 17.83 | 58.04 | 27.36 | 77.67 | 196.40 | 31 | 20 | 1 | 2 | 0 | 4 | 2 | 0 | 20 | 1 | 1.057 |
| x-10 | 8.60 | 10.70 | 86.36 | 67.60 | 71.80 | 245.06 | 17 | 14 | 1 | 2 | 0 | 10 | 3 | 0 | 13 | 1 | 0.267 |
| x-11 | 26.30 | 13.73 | 34.64 | 35.80 | 104.83 | 215.30 | 51 | 20 | 1 | 0 | 0 | 15 | 2 | 0 | 22 | 1 | 0.409 |
| x-12 | 19.77 | 12.60 | 52.06 | 60.87 | 120.94 | 266.24 | 38 | 20 | 1 | 0 | 0 | 13 | 5 | 0 | 20 | 1 | 0.477 |
| x-13 | 22.60 | 11.33 | 20.13 | 27.60 | 56.36 | 138.02 | 42 | 20 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 16 | 1 | 0.438 |
| x-15 | 64.53 | 31.77 | 222.07 | 268.94 | 279.40 | 866.71 | 107 | 38 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 29 | 3 | 0.800 |
| x-16 | 10.47 | 25.47 | 280.07 | 228.71 | 342.11 | 886.83 | 23 | 24 | 3 | 6 | 1 | 16 | 5 | 2 | 36 | 2 | 1.470 |
| x-17 | 0.00 | 0.00 | 7.40 | 40.40 | 48.43 | 96.23 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 3 | 0 | 8 | 1 | 0.314 |
| x-18 | 0.00 | 19.77 | 6.33 | 37.30 | 37.94 | 101.34 | 0 | 27 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 10 | 1 | 0.314 |
| x-20 | 8.80 | 0.00 | 103.03 | 56.27 | 88.50 | 256.60 | 14 | 0 | 0 | 3 | 0 | 19 | 3 | 0 | 12 | 1 | 0.579 |
| x-21 | 7.33 | 21.30 | 115.10 | 46.89 | 167.44 | 358.06 | 16 | 27 | 1 | 3 | 0 | 8 | 4 | 0 | 29 | 1 | 1.602 |
| x-22 | 20.33 | 40.67 | 0.00 | 0.00 | 189.03 | 250.03 | 29 | 30 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 1 | 1.656 |
| x-23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 119.60 | 119.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 1 | 1.656 |
| x-25 | 0.00 | 18.97 | 34.54 | 45.06 | 65.14 | 163.71 | 0 | 18 | 2 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 6 | 1 | 0.092 |
| x-26 | 30.66 | 12.23 | 110.50 | 192.24 | 189.64 | 535.27 | 58 | 21 | 2 | 1 | 1 | 6 | 2 | 2 | 25 | 2 | 0.800 |
| x-27 | 8.73 | 25.63 | 0.00 | 0.00 | 183.60 | 217.96 | 17 | 27 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1 | 1.656 |
| x-28 | 8.27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 165.40 | 173.67 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 1 | 1.656 |
| x-29 | 16.03 | 26.37 | 0.00 | 0.00 | 134.67 | 177.07 | 21 | 27 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1 | 1.656 |
| x-31 | 8.87 | 14.13 | 169.42 | 101.87 | 112.16 | 406.45 | 15 | 17 | 1 | 2 | 0 | 22 | 4 | 0 | 14 | 1 | 0.598 |
| x-32 | 11.60 | 37.80 | 281.91 | 202.05 | 277.10 | 810.46 | 23 | 35 | 1 | 4 | 0 | 21 | 8 | 0 | 27 | 1 | 1.231 |
| x-33 | 9.00 | 0.00 | 10.27 | 25.83 | 109.47 | 154.57 | 18 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 | 2 | 0 | 19 | 1 | 0.752 |
| x-34 | 0.00 | 47.63 | 8.23 | 34.63 | 94.30 | 184.79 | 0 | 45 | 2 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 20 | 1 | 0.752 |
| x-36 | 15.03 | 23.47 | 113.90 | 84.76 | 152.06 | 389.22 | 30 | 30 | 1 | 2 | 0 | 9 | 3 | 0 | 20 | 1 | 0.717 |
| x-37 | 9.07 | 32.93 | 576.04 | 524.75 | 335.20 | 1477.99 | 17 | 39 | 2 | 4 | 2 | 24 | 6 | 4 | 36 | 2 | 1.360 |
| x-38 | 7.97 | 0.00 | 205.98 | 82.86 | 55.34 | 352.15 | 17 | 0 | 0 | 5 | 0 | 3 | 4 | 0 | 6 | 1 | 0.198 |
| x-39 | 0.00 | 21.70 | 64.83 | 104.80 | 94.20 | 285.53 | 0 | 17 | 2 | 0 | 0 | 19 | 5 | 0 | 13 | 1 | 0.402 |
| x-40 | 7.67 | 24.83 | 210.60 | 124.60 | 122.37 | 490.07 | 16 | 22 | 1 | 5 | 0 | 8 | 2 | 0 | 16 | 1 | 0.731 |
| x-41 | 13.13 | 54.97 | 177.97 | 176.68 | 162.36 | 585.11 | 24 | 48 | 2 | 2 | 0 | 14 | 2 | 2 | 26 | 2 | 1.314 |
| x-42 | 28.97 | 39.10 | 0.00 | 0.00 | 145.31 | 213.38 | 43 | 39 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 1 | 1.656 |
| x-43 | 16.84 | 34.30 | 0.00 | 0.00 | 119.27 | 170.41 | 32 | 32 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 1 | 1.656 |
| x-45 | 13.10 | 34.70 | 45.50 | 84.77 | 203.60 | 381.67 | 25 | 36 | 1 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 33 | 1 | 1.602 |
| x-46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 195.07 | 195.07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 1 | 1.656 |
| x-47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 119.83 | 119.83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1 | 1.656 |
| x-49 | 36.47 | 24.33 | 82.83 | 72.90 | 121.46 | 337.99 | 64 | 34 | 1 | 2 | 0 | 17 | 2 | 0 | 19 | 1 | 0.759 |
| x-50 | 17.17 | 18.07 | 99.08 | 78.33 | 134.47 | 347.12 | 32 | 34 | 1 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 17 | 1 | 0.625 |
| x-51 | 12.80 | 40.80 | 321.49 | 184.37 | 188.07 | 747.53 | 28 | 43 | 1 | 3 | 1 | 34 | 4 | 0 | 28 | 1 | 1.198 |
| x-52 | 13.80 | 0.00 | 29.47 | 49.40 | 63.07 | 155.74 | 26 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 1.5 | 0 | 8 | 1 | 0.133 |
| x-53 | 0.00 | 25.23 | 0.00 | 11.03 | 55.40 | 91.66 | 0 | 41 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0.5 | 0 | 11 | 1 | 0.133 |
| x-55 | 17.50 | 19.87 | 82.54 | 38.90 | 59.96 | 218.77 | 34 | 35 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 | 1 | 0.193 |
| x-56 | 17.40 | 22.90 | 272.81 | 161.59 | 96.90 | 571.60 | 34 | 37 | 1 | 4 | 1 | 32 | 10 | 0 | 15 | 1 | 0.967 |
| x-57 | 0.00 | 44.60 | 66.89 | 29.30 | 122.30 | 263.09 | 0 | 55 | 3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 20 | 1 | 1.152 |
| x-58 | 10.83 | 20.23 | 12.47 | 36.93 | 87.50 | 167.96 | 20 | 35 | 1 | 0 | 0 | 17 | 3 | 0 | 20 | 1 | 1.152 |
| y-1 | 66.04 | 57.93 | 435.62 | 435.74 | 363.21 | 1358.54 | 122 | 86 | 6 | 4 | 3 | 25 | 12 | 6 | 42 | 5 | 1.106 |
| y-2 | 44.76 | 4.60 | 42.47 | 35.33 | 138.80 | 265.96 | 80 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 22 | 1 | 1.114 |
| y-3 | 16.03 | 0.00 | 18.23 | 26.16 | 81.03 | 141.45 | 30 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 | 2 | 0 | 19 | 1 | 1.114 |
| y-5 | 0.00 | 22.23 | 127.83 | 94.73 | 141.77 | 386.56 | 0 | 24 | 1 | 4 | 0 | 11 | 5 | 0 | 15 | 1 | 0.745 |
| y-7 | 0.00 | 15.67 | 21.96 | 49.81 | 62.13 | 149.57 | 0 | 28 | 1 | 0 | 0 | 8 | 3 | 0 | 12 | 1 | 0.083 |
| y-8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 191.73 | 191.73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | 1 | 1.656 |
| y-9 | 20.10 | 20.30 | 0.00 | 0.00 | 133.97 | 174.37 | 40 | 31 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 1 | 1.656 |
| y-10 | 19.27 | 16.97 | 193.24 | 109.11 | 190.37 | 528.96 | 34 | 22 | 1 | 2 | 1 | 18 | 4 | 1 | 25 | 2 | 0.671 |
| y-11 | 36.46 | 17.27 | 216.73 | 118.66 | 139.70 | 528.82 | 71 | 23 | 1 | 3 | 1 | 20 | 4 | 1 | 26 | 1 | 1.204 |
| y-13 | 3.23 | 13.37 | 158.48 | 130.97 | 70.14 | 376.19 | 6 | 21 | 1 | 4 | 1 | 0 | 3 | 2 | 8 | 2 | 0.138 |
| y-14 | 10.50 | 10.17 | 40.80 | 48.97 | 48.80 | 159.24 | 20 | 19 | 1 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 4 | 1 | 0.096 |
| y-15 | 11.00 | 15.73 | 274.48 | 76.74 | 139.95 | 517.90 | 21 | 23 | 1 | 8 | 0 | 8 | 5 | 0 | 22 | 1 | 0.695 |
| y-16 | 19.57 | 0.00 | 50.60 | 34.33 | 55.40 | 159.90 | 34 | 0 | 0 | 2 | 0 | 6 | 2 | 0 | 9 | 1 | 0.200 |
| y-17 | 0.00 | 16.13 | 0.00 | 24.47 | 52.10 | 92.70 | 0 | 27 | 2 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 11 | 1 | 0.200 |
| y-19 | 7.80 | 9.20 | 48.73 | 35.07 | 121.60 | 222.40 | 16 | 18 | 1 | 2 | 0 | 3 | 2 | 0 | 20 | 1 | 0.083 |
| y-20 | 7.60 | 14.23 | 81.42 | 54.14 | 56.06 | 213.45 | 16 | 17 | 1 | 2 | 0 | 6 | 3 | 0 | 4 | 1 | 0.773 |

表.3.3.2　取付けられたボードにおける単位作業の作業時間の実測値と数量的条件の実測値(Y21 から Y89 まで)

| ボード番号 | 作業時間の実測値 | | | | | | 数量的条件の実測値 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 移動(秒) | 運搬(秒) | 計測(秒) | 加工(秒) | 取付け(秒) | 合計(秒) | 歩く歩数(歩) | 運ぶ歩数(歩) | 手に持って運ぶボードの数(枚) | 直線切断数(箇所) | 円形切断数(箇所) | 加工に含まれる歩く歩数(歩) | 工具を拾う動作の回数(回) | 切り取る半円の個数(個) | ビスの本数(本) | 分割したボードの枚数(枚) | 取付けたボードの面積(m2) |
| y-21 | 9.60 | 21.13 | 54.66 | 74.38 | 226.17 | 385.94 | 18 | 21 | 1 | 0 | 0 | 26 | 6 | 0 | 34 | 1 | 1.543 |
| y-22 | 0.00 | 31.83 | 30.20 | 53.80 | 80.37 | 196.20 | 0 | 53 | 3 | 1 | 0 | 6.5 | 1.5 | 0 | 16 | 1 | 0.704 |
| y-23 | 0.00 | 0.00 | 97.90 | 38.30 | 85.37 | 221.57 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 9 | 2 | 0 | 17 | 1 | 0.704 |
| y-24 | 16.63 | 0.00 | 26.76 | 36.40 | 124.20 | 203.99 | 30 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 | 3 | 0 | 24 | 1 | 0.790 |
| y-25 | 17.97 | 20.67 | 14.77 | 30.70 | 88.10 | 172.21 | 33 | 34 | 1 | 0 | 0 | 11 | 2 | 0 | 23 | 1 | 0.790 |
| y-26 | 7.03 | 10.90 | 120.63 | 104.58 | 178.27 | 421.41 | 13 | 16 | 1 | 4 | 0 | 21 | 6 | 0 | 32 | 1 | 1.250 |
| y-27 | 0.00 | 21.87 | 30.37 | 27.23 | 64.16 | 143.63 | 0 | 36 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 11 | 1 | 0.219 |
| y-28 | 0.00 | 34.77 | 7.80 | 31.47 | 49.10 | 123.14 | 0 | 39 | 2 | 0 | 0 | 8 | 2 | 0 | 11 | 1 | 0.219 |
| y-29 | 8.33 | 28.06 | 80.30 | 56.94 | 110.90 | 284.53 | 16 | 26 | 2 | 2 | 0 | 17 | 2 | 0 | 19 | 1 | 0.736 |
| y-30 | 5.60 | 10.57 | 61.36 | 53.00 | 52.74 | 183.27 | 10 | 14 | 1 | 2 | 0 | 10 | 3 | 0 | 9 | 1 | 0.161 |
| y-31 | 6.97 | 7.43 | 194.77 | 103.10 | 197.40 | 509.67 | 14 | 11 | 1 | 6 | 0 | 20 | 8 | 0 | 32 | 1 | 1.208 |
| y-32 | 24.60 | 0.00 | 25.17 | 28.10 | 84.77 | 162.64 | 46 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 17 | 1 | 0.562 |
| y-33 | 18.23 | 0.00 | 64.30 | 33.34 | 86.73 | 202.60 | 36 | 0 | 0 | 2 | 0 | 15 | 2 | 0 | 17 | 1 | 0.562 |
| y-34 | 6.57 | 10.37 | 107.23 | 49.13 | 73.63 | 246.93 | 10 | 12 | 1 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 | 1 | 0.179 |
| y-35 | 7.50 | 34.70 | 0.00 | 0.00 | 179.83 | 222.03 | 14 | 45 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 1 | 1.656 |
| y-36 | 0.00 | 51.80 | 0.00 | 0.00 | 135.81 | 187.61 | 0 | 45 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 1 | 1.656 |
| y-37 | 5.40 | 11.70 | 22.23 | 39.67 | 92.17 | 171.17 | 11 | 12 | 1 | 0 | 0 | 15 | 3 | 0 | 16 | 1 | 0.779 |
| y-38 | 6.00 | 14.50 | 45.67 | 30.43 | 131.40 | 228.00 | 11 | 12 | 1 | 1 | 0 | 13 | 2 | 0 | 27 | 1 | 1.528 |
| y-39 | 0.00 | 14.80 | 42.37 | 28.14 | 112.06 | 197.37 | 0 | 15 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 17 | 1 | 0.714 |
| y-40 | 0.00 | 14.60 | 0.00 | 13.33 | 65.63 | 93.56 | 0 | 16 | 1 | 0 | 0 | 9 | 1.5 | 0 | 16 | 1 | 0.714 |
| y-41 | 7.50 | 15.63 | 240.16 | 135.65 | 181.39 | 580.33 | 13 | 7 | 1 | 8 | 0 | 11 | 8 | 0 | 21 | 1 | 0.883 |
| y-42 | 7.20 | 11.27 | 137.83 | 74.93 | 144.77 | 376.00 | 10 | 9 | 1 | 3 | 0 | 21 | 5 | 0 | 16 | 1 | 1.100 |
| y-43 | 2.63 | 6.30 | 67.94 | 47.73 | 54.37 | 178.97 | 4 | 5 | 1 | 2 | 0 | 4 | 3 | 0 | 9 | 1 | 0.271 |
| y-44 | 3.03 | 14.63 | 118.46 | 69.97 | 207.27 | 413.36 | 6 | 7 | 1 | 5 | 0 | 11 | 3 | 0 | 38 | 1 | 1.370 |
| y-45 | 0.00 | 8.33 | 14.84 | 43.94 | 101.60 | 168.71 | 0 | 12 | 1 | 1 | 0 | 5 | 3 | 0 | 14 | 1 | 0.095 |
| y-46 | 37.17 | 31.20 | 79.80 | 40.83 | 53.37 | 242.37 | 64 | 55 | 2 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 12 | 1 | 0.095 |
| y-47 | 25.13 | 39.33 | 0.00 | 0.00 | 180.10 | 244.56 | 50 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 1 | 1.656 |
| y-48 | 40.17 | 35.17 | 39.50 | 61.60 | 125.86 | 302.30 | 68 | 54 | 1 | 0 | 0 | 23 | 3 | 0 | 27 | 1 | 1.656 |
| y-49 | 2.97 | 5.80 | 22.50 | 56.52 | 57.84 | 145.63 | 5 | 5 | 1 | 0 | 0 | 3 | 5 | 0 | 10 | 1 | 0.267 |
| y-50 | 11.30 | 12.93 | 138.44 | 72.30 | 205.71 | 440.68 | 20 | 14 | 2 | 2 | 0 | 19 | 5 | 0 | 24 | 2 | 1.224 |
| y-51 | 5.87 | 3.50 | 72.74 | 38.90 | 58.56 | 179.57 | 10 | 4 | 1 | 2 | 0 | 10 | 3 | 0 | 8 | 1 | 0.325 |
| y-52 | 2.73 | 13.03 | 153.20 | 107.63 | 130.20 | 406.79 | 3 | 13 | 1 | 4 | 0 | 29 | 6 | 0 | 22 | 1 | 0.900 |
| y-53 | 11.76 | 48.80 | 25.76 | 29.46 | 71.03 | 186.81 | 21 | 68 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 16 | 1 | 0.781 |
| y-54 | 5.33 | 0.00 | 43.14 | 24.86 | 68.36 | 141.69 | 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 2 | 0 | 17 | 1 | 0.781 |
| y-55 | 2.73 | 8.37 | 131.83 | 123.74 | 168.50 | 435.17 | 3 | 6 | 3 | 2 | 0 | 20 | 9 | 0 | 14 | 3 | 0.332 |
| y-56 | 3.50 | 6.97 | 159.17 | 89.60 | 62.26 | 321.50 | 8 | 7 | 1 | 4 | 2 | 19 | 4 | 0 | 12 | 1 | 0.642 |
| y-57 | 7.06 | 9.10 | 48.14 | 40.07 | 145.76 | 250.13 | 12 | 6 | 1 | 2 | 0 | 13 | 3 | 0 | 30 | 1 | 1.636 |
| y-58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 201.20 | 201.20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 1 | 1.636 |
| y-59 | 11.70 | 10.87 | 0.00 | 0.00 | 172.57 | 195.14 | 16 | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 | 1 | 1.636 |
| y-60 | 6.83 | 9.70 | 99.33 | 66.70 | 90.10 | 272.66 | 14 | 9 | 1 | 2 | 0 | 14 | 4 | 0 | 13 | 1 | 0.616 |
| y-61 | 7.93 | 6.70 | 133.30 | 96.20 | 201.60 | 445.73 | 14 | 5 | 1 | 4 | 0 | 30 | 6 | 0 | 34 | 1 | 1.440 |
| y-62 | 36.97 | 0.00 | 52.63 | 37.56 | 113.37 | 240.53 | 63 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 2 | 0 | 21 | 1 | 0.495 |
| y-63 | 0.00 | 46.37 | 48.97 | 35.90 | 95.00 | 226.24 | 0 | 62 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1.5 | 0 | 21 | 1 | 0.495 |
| y-64 | 6.03 | 7.00 | 109.65 | 41.10 | 67.26 | 231.04 | 10 | 10 | 1 | 2 | 0 | 7 | 2 | 0 | 12 | 1 | 0.293 |
| y-65 | 4.57 | 6.50 | 169.19 | 109.00 | 134.84 | 424.10 | 9 | 7 | 1 | 5 | 0 | 23 | 6 | 0 | 24 | 1 | 0.673 |
| y-66 | 26.33 | 0.00 | 14.33 | 44.30 | 130.57 | 215.53 | 50 | 0 | 0 | 1 | 0 | 17 | 2 | 0 | 26 | 1 | 0.999 |
| y-67 | 27.26 | 44.07 | 33.89 | 18.93 | 126.27 | 250.42 | 37 | 66 | 2 | 1 | 0 | 11 | 1.5 | 0 | 32 | 1 | 0.999 |
| y-68 | 5.07 | 8.07 | 75.38 | 66.13 | 122.60 | 277.25 | 7 | 7 | 1 | 2 | 0 | 5 | 3 | 0 | 22 | 1 | 0.666 |
| y-69 | 0.00 | 0.00 | 28.50 | 0.00 | 89.73 | 118.23 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 18 | 5 | 0 | 15 | 1 | 0.648 |
| y-70 | 5.80 | 6.77 | 94.86 | 77.11 | 105.86 | 290.40 | 11 | 11 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 1 | 1.230 |
| y-71 | 0.00 | 0.00 | 21.60 | 29.57 | 101.26 | 152.43 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 17 | 1 | 0.571 |
| y-72 | 39.33 | 39.50 | 86.26 | 33.90 | 63.83 | 262.82 | 68 | 72 | 2 | 4 | 0 | 7 | 2 | 0 | 16 | 1 | 0.571 |
| y-73 | 4.63 | 10.57 | 62.60 | 82.80 | 151.71 | 312.31 | 8 | 11 | 1 | 1 | 0 | 31 | 2 | 0 | 18 | 1 | 0.800 |
| y-74 | 5.83 | 24.70 | 126.08 | 135.57 | 149.73 | 441.91 | 12 | 12 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 28 | 2 | 1.656 |
| y-75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 166.54 | 166.54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 1 | 1.656 |
| y-76 | 41.14 | 48.70 | 0.00 | 0.00 | 148.32 | 238.16 | 80 | 72 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 1 | 1.656 |
| y-77 | 0.00 | 17.93 | 126.41 | 61.40 | 97.29 | 303.03 | 0 | 20 | 3 | 4 | 0 | 3 | 2 | 0 | 13 | 1 | 0.337 |
| y-78 | 7.40 | 9.80 | 51.20 | 67.30 | 131.13 | 266.83 | 13 | 6 | 1 | 0 | 0 | 13 | 4 | 0 | 21 | 1 | 0.859 |
| y-79 | 0.00 | 8.67 | 14.66 | 37.74 | 55.67 | 116.74 | 0 | 12 | 2 | 0 | 0 | 10 | 2 | 0 | 21 | 1 | 0.333 |
| y-80 | 6.70 | 0.00 | 15.27 | 31.60 | 55.57 | 109.14 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 2 | 0 | 11 | 1 | 0.333 |
| y-81 | 8.76 | 9.70 | 118.44 | 64.23 | 154.91 | 356.04 | 18 | 14 | 1 | 2 | 0 | 17 | 3 | 0 | 14 | 1 | 0.773 |
| y-82 | 11.10 | 16.50 | 219.75 | 208.80 | 213.80 | 669.95 | 21 | 23 | 1 | 3 | 1 | 22 | 8 | 0 | 38 | 2 | 1.488 |
| y-84 | 8.07 | 9.97 | 66.22 | 45.83 | 62.10 | 192.19 | 14 | 18 | 1 | 2 | 0 | 14 | 2 | 0 | 7 | 1 | 0.211 |
| y-85 | 17.33 | 0.00 | 16.83 | 33.54 | 165.59 | 233.29 | 29 | 0 | 0 | 1 | 0 | 13 | 3 | 0 | 24 | 1 | 1.304 |
| y-86 | 13.73 | 52.33 | 38.17 | 32.57 | 166.00 | 302.80 | 14 | 85 | 2 | 0 | 0 | 7 | 2 | 0 | 22 | 1 | 1.304 |

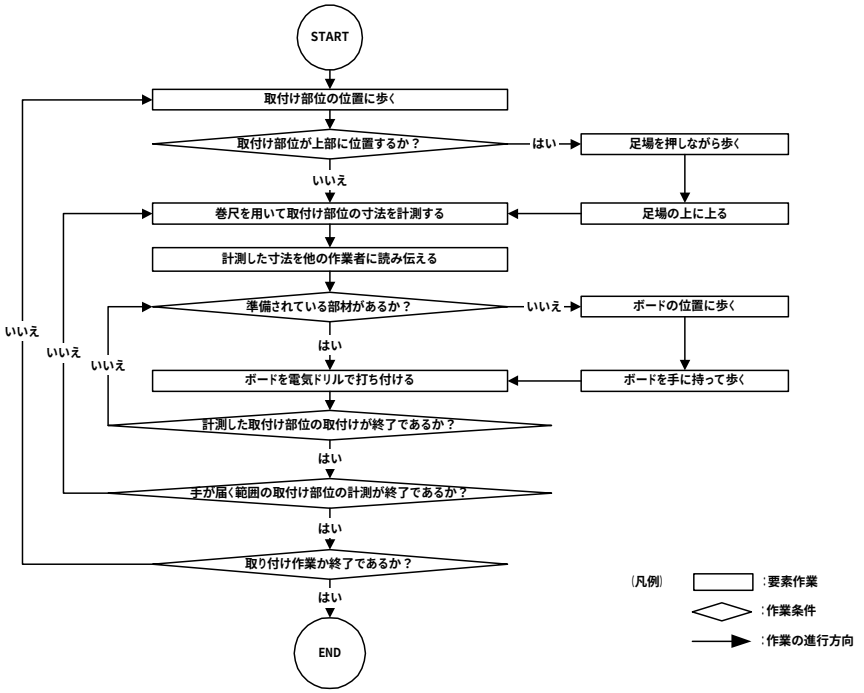



図.3.3.8　石膏ボード取付け作業の取付けを担当する作業者の作業フロー

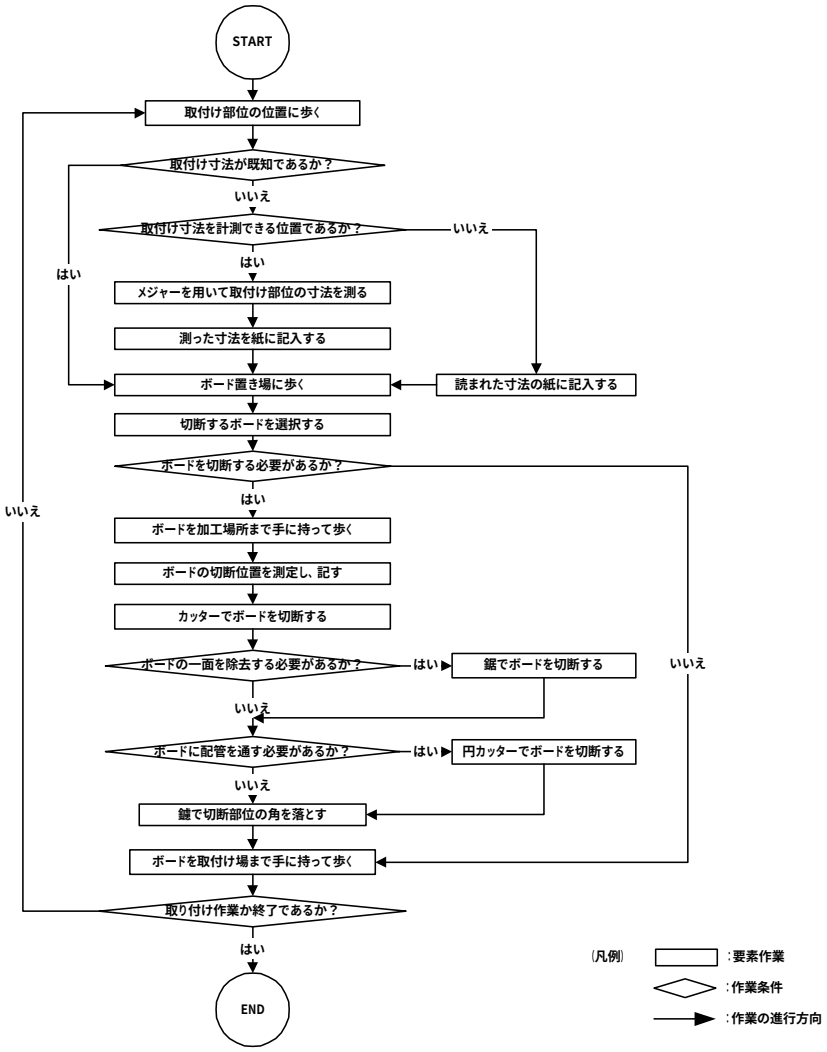



図.3.3.9　石膏ボード取付け作業の加工を担当する作業者の作業フロー

D.作業フローの作成

測定の対象作業は取付けを担当する作業者と加工を担当する作業者の 2 人がボード 1 枚ごとに単位作業を繰り返し行った。作業測定の結果に基づいて各作業者における要素作業レベルで作業フローを作成した。図.3.3.8 には加工を担当する作業者の作業フローを示す。図.3.3.9 には取付けを担当する作業者の作業フローを示す。

E.単位作業における作業時間の重回帰式の作成

測定した 1 枚のボードを取付けるために必要とする単位作業の作業時間を目的変量とし、数量的条件を説明変量として重回帰式を作成した。以下の項目に単位作業の分類項目ごとに作成した重回帰式および、作業時間の推定値と実測値の相関関係を示す。

a.移動

移動は 1 枚の石膏ボードを取付けるために「平坦な床の上を歩く」と「足場に上る・下りる」の作業時間の合計を目的変量とし、歩いた距離の長さを示す「歩く歩数」を説明変量にして重回帰式を作成した。表.3.3.3 には移動の作業時間の重回帰式と決定係数を示す。重回帰式を用いて算出した移動の作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.10 に如く、0.99 と高い相関関係を示している。

表.3.3.3　壁石膏ボード取付け作業の移動における作業時間の重回帰式と決定係数

| 単位作業 | 重回帰式 | 決定係数($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|
| 移動 | $Y_1 = 0.56^{**} \times x_1 - 0.02$ | 0.98 | $Y_1$:1枚のボードの取付け作業における移動の時間<br>$x_1$:1枚のボードの取付け作業における作業者の歩く歩数 |

(注)各変数の信頼度を**:1%有意、*:5%有意として示す。

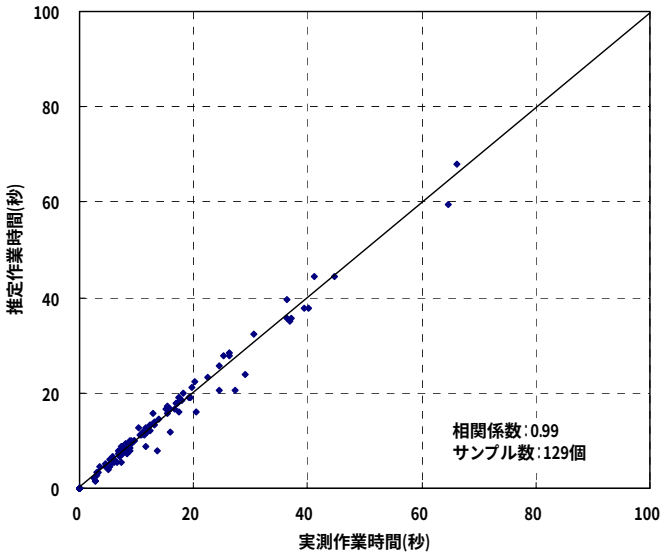



図.3.3.10　壁石膏ボード取付け作業の移動における作業時間の実測値と推定値の関係

b.運搬

運搬は 1 枚の石膏ボードを取付けるために「ボードを手に持て運ぶ」の作業時間を目的変量とし、歩いた距離の長さを示す「歩く歩数」、手に持ったボードの大きさを示す「取付けられたボードの面積」、ボードの扱いの度合を示す「運んだボードの枚数」を説明変量にして重回帰式を作成した。表.3.3.4 には運搬の作業時間の重回帰式と決定係数を示す。重回帰式を用いて算出した運搬の作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.11 に示す如く、0.94 と高い相関関係を示している。

表.3.3.4 壁石膏ボード取付け作業の運搬における作業時間の重回帰式と決定係数

| 単位作業 | 重回帰式 | 決定係数($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|
| 運搬 | $Y_2 = 0.55^{**} \times x_2 + 4.37^{**} \times x_{11} + 1.11 \times x_3 + 0.21$ | 0.89 | $Y_2$:1枚のボードの取付け作業における運搬の時間<br>$x_2$:1枚のボードの取付け作業における作業者の運ぶ歩数<br>$x_{11}$:取付けたボードの面積<br>$x_3$:手に持って運ぶボードの枚数 |

( 注)各変数の信頼度を**:1%有意、*:5%有意として示す。

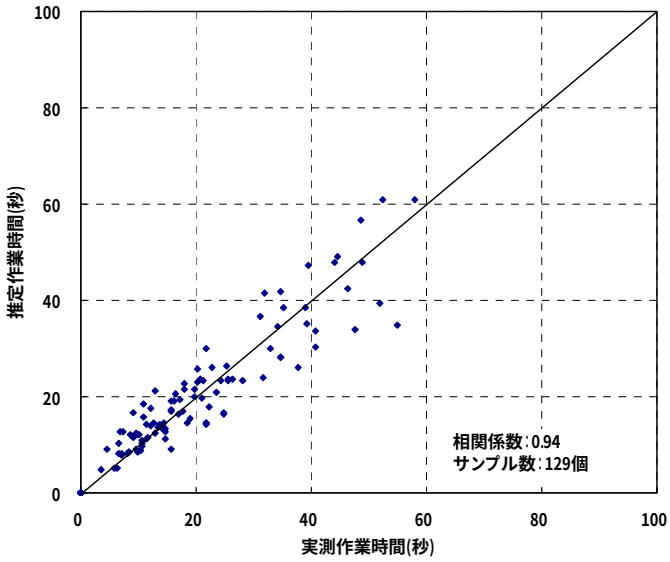



図.3.3.11　壁石膏ボード取付け作業の運搬における作業時間の実測値と推定値の関係

c.計測

計測は 1 枚の石膏ボードを取付けるために「巻尺を用いて寸歩を測る」「計った寸法を紙に記入する」「測った寸法を読み伝える」及び、「読まれた寸法を記入する」の作業時間の合計を目的変量とし、巻尺の扱いの難易度を示す「直線切断の回数」と「円形切断の回数」、測る部位の大きさを示す「取付けたボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。表.3.3.5 には計測の作業時間の重回帰式と決定係数を示す。重回帰式を用いて算出した計測の作業時間の推定値と実測作値の相関係数は図.3.3.12 に示す如く、0.91 と高い

相関関係を示す。

表.3.3.5 壁石膏ボード取付け作業の計測における作業時間の重回帰式と決定係数

| 単位作業 | 重回帰式 | 決定係数($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|
| 計測 | $Y_3 = 24.28^{**} \times x_4 + 52.82^{**} \times x_5 + 0.69 \times x_{11} - 3.79$ | 0.83 | $Y_3$:1枚のボードの取付け作業における計測の時間<br>$x_4$:1枚のボードの取付け作業における直線切断の回数<br>$x_5$:1枚のボードの取付け作業における円形切断の回数<br>$x_{11}$:取付けたボードの面積 |

(注)各変数の信頼度を**:1%有意、*:5%有意として示す。

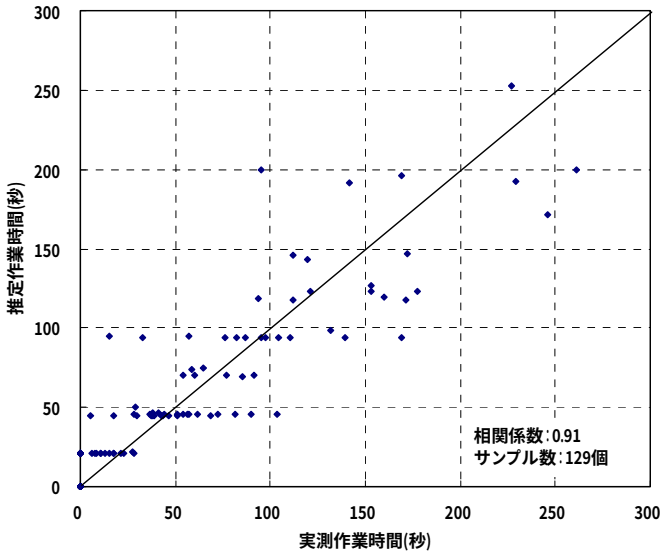



図.3.3.12 壁石膏ボード取付け作業の計測における作業時間の実測値と推定値の関係

d.加工

加工は石膏ボードを取付ける部位の形状によって異なる切断方法を用いる。そのため、作業をボードの切断を行うための要素作業である「切断するボードを選択する」「ボードの切断部位を計測し、記す」と「カッターでボードを切断する」「円カッターでボードを切断する」「鋸でボードを切断する」「鑢で切断部位の角を落とす」に分割して重回帰式の作成を行った。また、切断を含む要素作業は、その形状によって「直線切断」「外 L 字型切断」「内 L 字型切断」「凹型切断」「凸型切断」の 5 つに分類して、重回帰式の作成を行った。

加工の設置と寸法チェックである「切断するボードを選択する」「ボードの切断部位を計測し、記す」における作業時間の重回帰式と決定回数を表.3.3.6 に示す。表に示す如く、ボードを加工台の上に設置して切断部分の寸法を鉛筆でチェックする作業は、ボードを切断するために「ボード置き場から適切なボードを選択し、加工台の上に置く」と「ポケットから巻尺と鉛筆を取り出し、寸法を測りチェックする」の作業時間の合計を目的変量とし、チェックを行う回数を示す「ボードの直線切断回数」「ボードの円形切断回数」及び、

取り扱うボードの大きさの程度を示す「取付けたボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。　重回帰式を用いて求めた「設置と寸法チェック」の作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.13 に示す如く、0.84 と相関関係である。

表.3.3.6　壁石膏ボード取付け作業の加工の「設置と寸法チェック」における作業時間の重回帰式と決定係数

| 要素作業 | 重回帰式 | 決定係数($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|
| 設置と寸法チェック | $Y_4 = 14.44^{**} \times x_4 + 47.44^{**} \times x_5 + 2.62 \times x_{11} + 2.20$ | 0.68 | $Y_4$：1枚のボードの取付け作業における加工のためのボードの設置と寸法のチェックにおける作業時間<br>x4：1枚のボードの取付け作業における直線切断の回数<br>x5：1枚のボードの取付け作業における円形切断の回数<br>$x_{11}$：取付けたボードの面積 |

( 注)各変数の信頼度を**：1%有意、*：5%有意として示す。

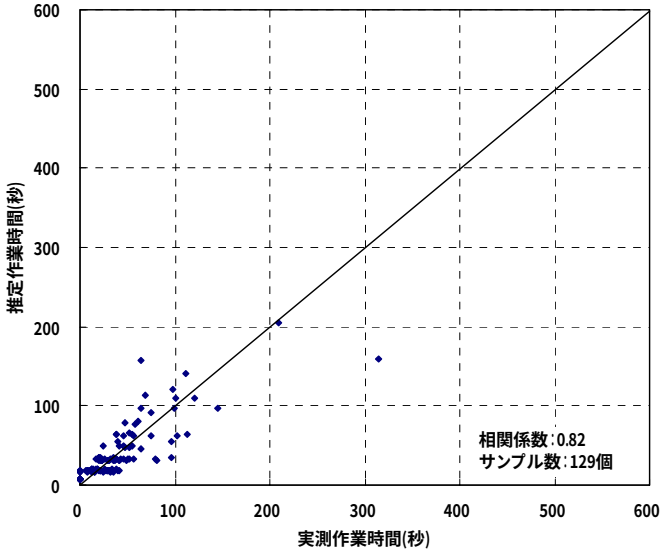



図.3.3.13　壁石膏ボード取付け作業の加工の「設置と寸法のチェック」における作業時間実測値と推定作値の関係

石膏ボード取付け作業における加工の切断を含む要素作業における切断の形状の分類と発生条件は表.3.3.7 に示す如く、1 枚のボードから切り取る部分の形状によってカッターと鋸を選択し、作業を行う。

「直線切断」は、切断するボードの切れ目は直線の 1 箇所であり、カッターを用いて行う。1 枚の石膏ボードの取付けにおける「カッターでボードを切断する」と「鑢で切断部位の角を落す」の作業時間の合計を目的変量とし、作業者の移動する距離の長さを示す「加工のために歩く歩数」、工具使用の複雑さを示す「工具を拾う回数」及び、取り扱うボードの大きさを示す「取付けたボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。

「外 L 字型切断」は、ボードの切れ目は直線の 2 箇所であり、カッターを用いて行う。1 枚の石膏ボードを取付けるために「カッターでボードを切断する」と「鑢で切断部位の

角を落す」の作業時間の合計を目的変量とし、「加工のために歩く歩数」「工具を拾う回数」「取付けたボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。

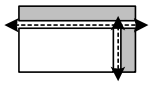
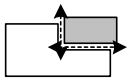
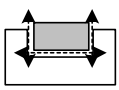
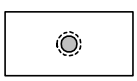
「内 L 字型切断」は、ボードの切れ目は相互に連結した 2 箇所であり、鋸を用いて 1 辺を切断し、カッターを用いて 1 辺を切断する。1 枚の石膏ボードを取付けるために「鋸でボードを切断する」「カッターでボードを切断する」及び、「鑢で切断部分の角を落す」の作業時間の合計を目的変量とし、「加工のために歩く歩数」「工具を拾う回数」及び、切断する部位の長さを示す「切り捨てるボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。

「凹字型切断」は、ボードの切れ目は相互に連結した 3 箇所であり、鋸を用いて 2 辺を切断し、カッターを用いて 1 辺を切断する。1 枚の石膏ボードを取付けるために「鋸でボードを切断する」「カッターでボードを切断する」及び、「鑢で角を落す」の作業時間の合計を目的変量とし、「加工のために歩く歩数」「工具を拾う回数」及び、「切り捨てるボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。

「円型切断」は、ボードの切れ目は円型の 1 箇所であり、カッターを用いて円を中心にボードを半分に切断し、鋸を用いて 2 箇所の半円を切断する。1 枚の石膏ボードを取付けるために「鋸でボードを切断する」「カッターでボードを切断する」及び、「鑢で角を落す」の作業時間の合計を目的変量とし、「加工のために歩く歩数」「工具を拾う回数」及び、「切り捨てるボードの面積を」説明変量にして重回帰式を作成した。

加工の切断を含む要素作業における切断の形状の重回帰式と決定係数を表.3.3.8 に示す。重回帰式を用いて求めた作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.14 に示す如く、0.94 と高い相関関係である。

表.3.3.6　加工の切断を含む要素作業における切断の形状の分類と発生条件

| 区分 | 説明図 | 発生条件 | 切断方法 |
|---|---|---|---|
| 直線切断 | | 加工の対象となるボード寸法が取付け位置の1辺の長さと一致しない場合 | カッターでボードに切り目を入れて手で折り、カッタで切り落とす。切断部位を鑢で角を落す。 |
| 外L字型切断 |  | 加工の対象となるボード寸法が取付け位置の2辺の長さと一致しない場合 | カッターでボードに切り目を入れて手で折り、カッタで切り落とす。切断部位を鑢で角を落す作業を2回行う。 |
| 内L字型切断 |  | 取付け位置に2辺に渡って四角の面がある場合 | 鋸で1辺を切断する。残り1辺はカッターでボードに切り目を入れて手で折り、カッタで切り落とす。切断部位を鑢で角を落す |
| 凹型切断 |  | 取付け位置に1辺に渡って四角の面がある場合 | 鋸で2辺を切断する。残り1辺はカッターでボードに切り目を入れて手で折り、カッタで切り落とす。切断部位を鑢で角を落す |
| 円形切断 |  | 取付け位置に貫通する物がある場合 | ボードを円の中心に2枚に分ける。分けたボードの半円を鋸で切断し、切断部位の角を鋸で落す作業を2回行う。 |

(凡例) □ :取付けるボードの部位
▭ :切り捨てるボードの部位
◀--▶ :切断する位置

表.3.3.8　壁石膏ボード取付け作業の加工の切断を含む要素作業における切断の形状別の作業時間の重回帰式と決定係数

| 要素作業 | 重回帰式 | 決定係数($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|
| 直線切断加工 | $Y_5 = 0.63^{*} \times x_6 + 11.91^{**} \times x_7 + 2.32 \times x_{11} + 3.73$ | 0.31 | $Y_5$：1枚のボードの取付け作業における直線切断における作業時間<br>$Y_6$：1枚のボードの取付け作業における外L字切断における作業時間<br>$Y_7$：1枚のボードの取付け作業における内L字切断における作業時間<br>$Y_8$：1枚のボードの取付け作業における凹型切断における作業時間<br>$Y_9$：1枚のボードの取付け作業における円型切断における作業時間<br>$x_6$：加工のために歩く歩数<br>$x_7$：加工のための工具を拾う回数<br>$x_8$：切捨てる半円型ボードの枚数<br>$x_{11}$：取付けたボードの面積<br>$x_{12}$：切り捨てるボードの面積 |
| 外L字切断加工 | $Y_6 = 0.34 \times x_6 + 6.39 \times x_7 + 26.88^{*} \times x_{11} + 24.48^{*}$ | 0.32 | |
| 内L字切断加工 | $Y_7 = 1.06^{*} \times x_6 + 6.70 \times x_7 + 74.04^{**} \times x_{12} + 14.19$ | 0.43 | |
| 凹型切断加工 | $Y_8 = 0.70 \times x_6 + 5.77 \times x_7 + 165.46^{*} \times x_{12} + 52.04^{*}$ | 0.64 | |
| 円形切断加工 | $Y_9 = 35.75 \times x_{11} + 50.52^{**} \times x_8 - 7.81$ | 0.68 | |

(注)各変数の信頼度を**：1%有意、*：5%有意として示す。

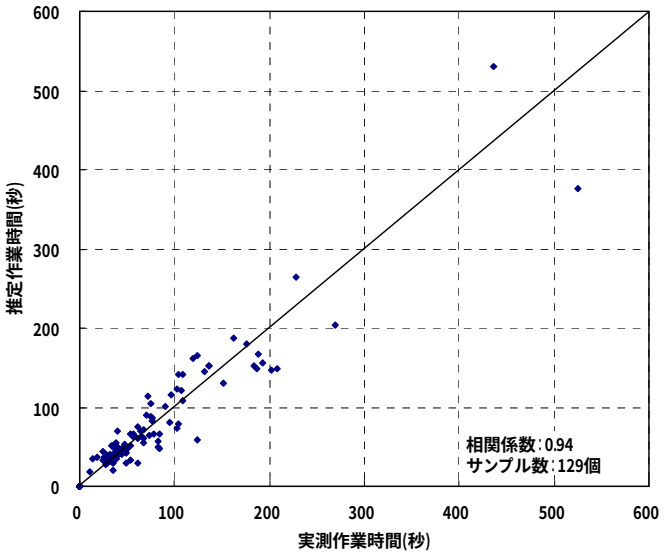



図.3.3.14　壁石膏ボード取付け作業の加工の切断を含む要素作業における切断の形状別の作業時間の実測値と推定値の関係

e.取付け

取付けは 1 枚の石膏ボードを取付けるために「ボードを電気ドリルで打ち付ける」の作業時間を目的変量とし、作業者がドリルを扱う難易度を示す「打ち付けたビスの本数」、取り扱うボードの大きさを示す「分割して取付けたボードの枚数」と「取付けたボードの面積」を説明変量にして重回帰式を作成した。表.3.3.9 には石膏ボード取付け作業における取付けの作業時間の重回帰式と決定係数を示す。重回帰式を用いて求めた取付けの作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.15 に示す如く、0.87 と相関関係である。

表.3.3.9　壁石膏ボード取付け作業の取付けにおける作業時間の重回帰式と決定係数

| 単位作業 | 重回帰式 | 決定係数($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|
| 取付け | $Y_{10} = 5.16^{**} \times x_9 + 42.06^{**} \times x_{10} + 1.63 \times x_{11} - 29.43^{**}$ | 0.76 | $Y_{10}$：1枚のボードの取付け作業における取付けの時間<br>$x_9$：1枚のボードの取付け作業におけるビスの本数<br>$x_{10}$：分割して取付けたボードの枚数<br>$x_{11}$：取付けたボードの面積 |

(注)各変数の信頼度を**：1%有意、*：5%有意として示す。

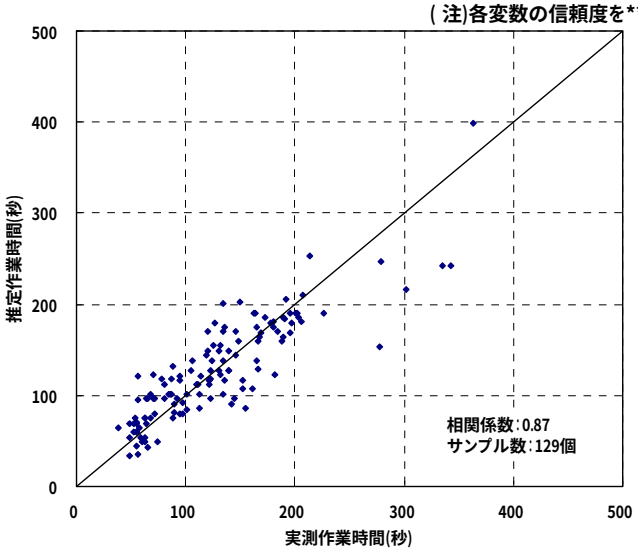



図.3.3.15　壁石膏ボード取付け作業の取付けにおける作業時間の実測値と推定値の関係

E.まとまり作業における作業時間の推定

1 枚の石膏ボードを取付けるために行う単位作業の重回帰式を用いてまとまり作業の作業時間の推定を行った。単位作業の作業時間を作成した重回帰式を用いて算出し、ボードごとに合計した。1 枚の石膏ボード取付けにおける作業時間の実測値と推定値の相関係数は図.3.3.16 に示す如く、0.93 と相関関係である。以上の結果から提案した作業の数量的条件を用いた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。

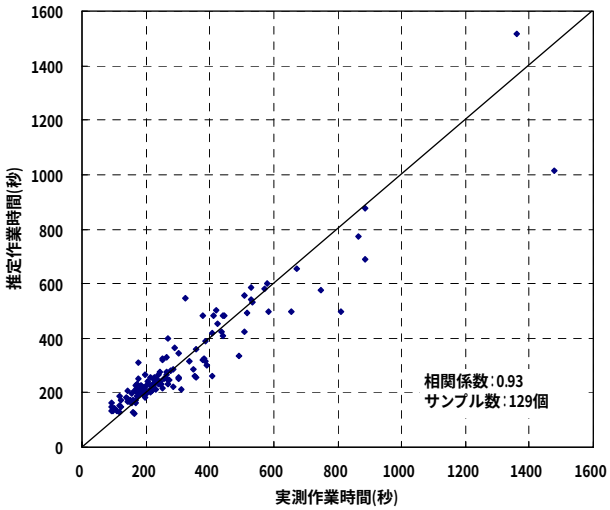



図.3.3.16　壁石膏ボード取付け作業の 1 枚のボード取付けにおける作業時間の実測値と推定値の関係

**②鋼製壁下地取付け作業における適用**

A.鋼製壁下地取付け作業の実態調査

本論文の 2.3.章のA工事における鋼製壁下地取付け作業を対象に作業時間の推定のための実態調査を行った。調査の対象は 2 の作業者の取付け作業におけるスタッド材の運搬、床ランナの取付け、上部ランナの取付けとした。

B.作業分割と作業時間の測定範囲の設定

鋼製壁下地取付け作業における単位作業の分類項目の運搬、取付けに基づいて作業分割を行った。運搬は質的条件を持つ「スタッド材を手に取る」「スタット材を目的の位置に置く」および、数量的条件を持つ「手に取ったスタッドをもって歩き」の要素作業を推定の対象とした。取付けは「ランナ材を鋲打ち銃打ち銃を用いて打ち付ける」の単位作業を推定の対象とした。図.3.3.17 は運搬と取付けの要素作業の分割と作業時間の測定範囲を示す。

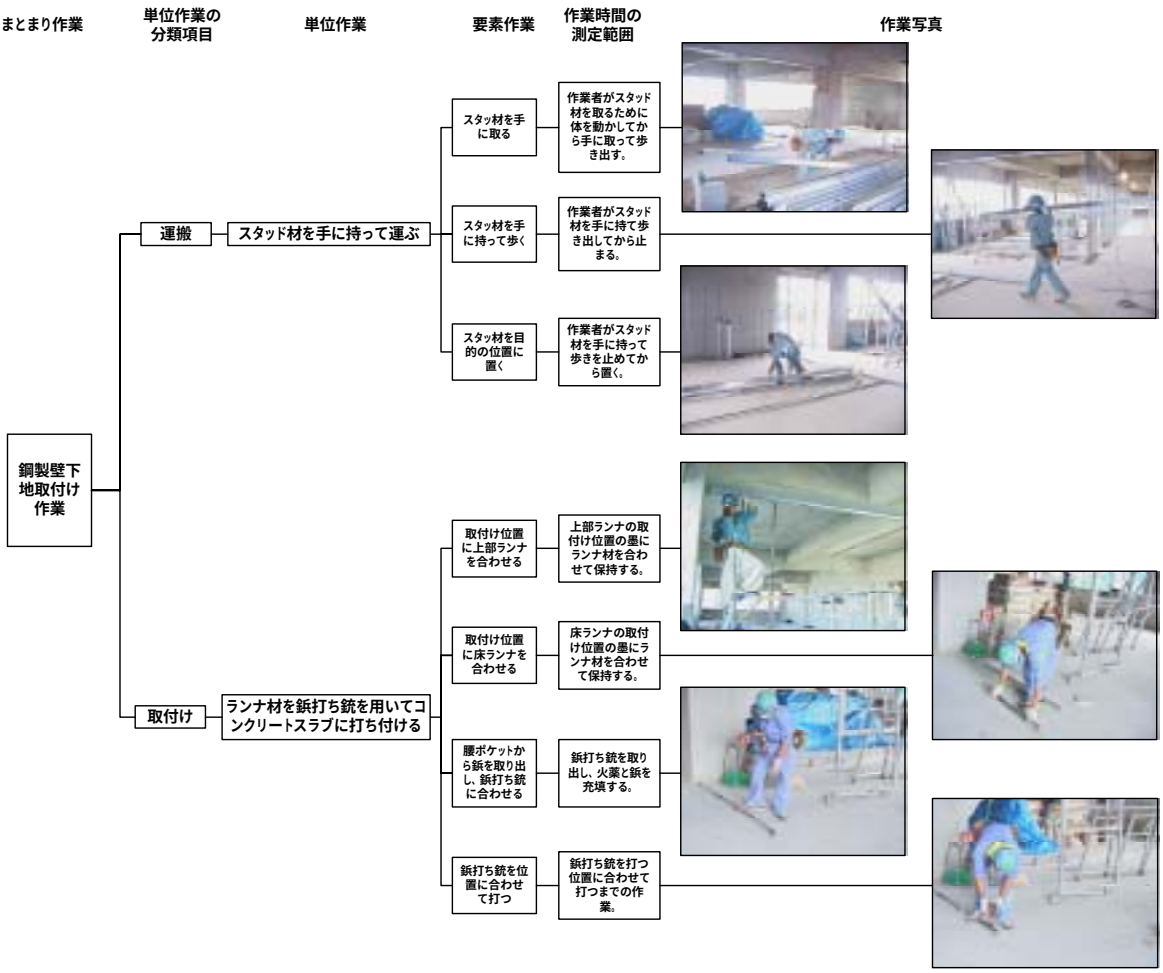



図.3.3.17　推定の対象にした運搬と取付けの要素作業と作業時間の測定範囲

C.作業時間と質的条件の測定

作業の測定は「スタッド材を手に持って運ぶ」「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」を対象に行った。以下の項目に測定の結果を記す。

a.「スタッド材を手に持って運ぶ」

スタッドの取付けにおける運搬は、材料置き場から切断場までの運搬、切断場からスペーサを取付ける場までの運搬、スペーサの取付け場から取付け部位までの運搬を行った。図.3.3.18 には実測した作業者の運搬動線を示す。測定した数量的条件と質的条件は、2 人作業者における「スタッドの本数」「体に固定する方法」「歩く歩数」「置く方法」「置く位置」であった。表.3.3.10 に示す如く、測定した各要素作業の平均作業時間は「スタッド材を手に取る」が 2.89 秒、「スタッド材を手に持って歩く」が 4.27 秒、「スタッド材を目的の位置に置く」が 1.73 秒であった。

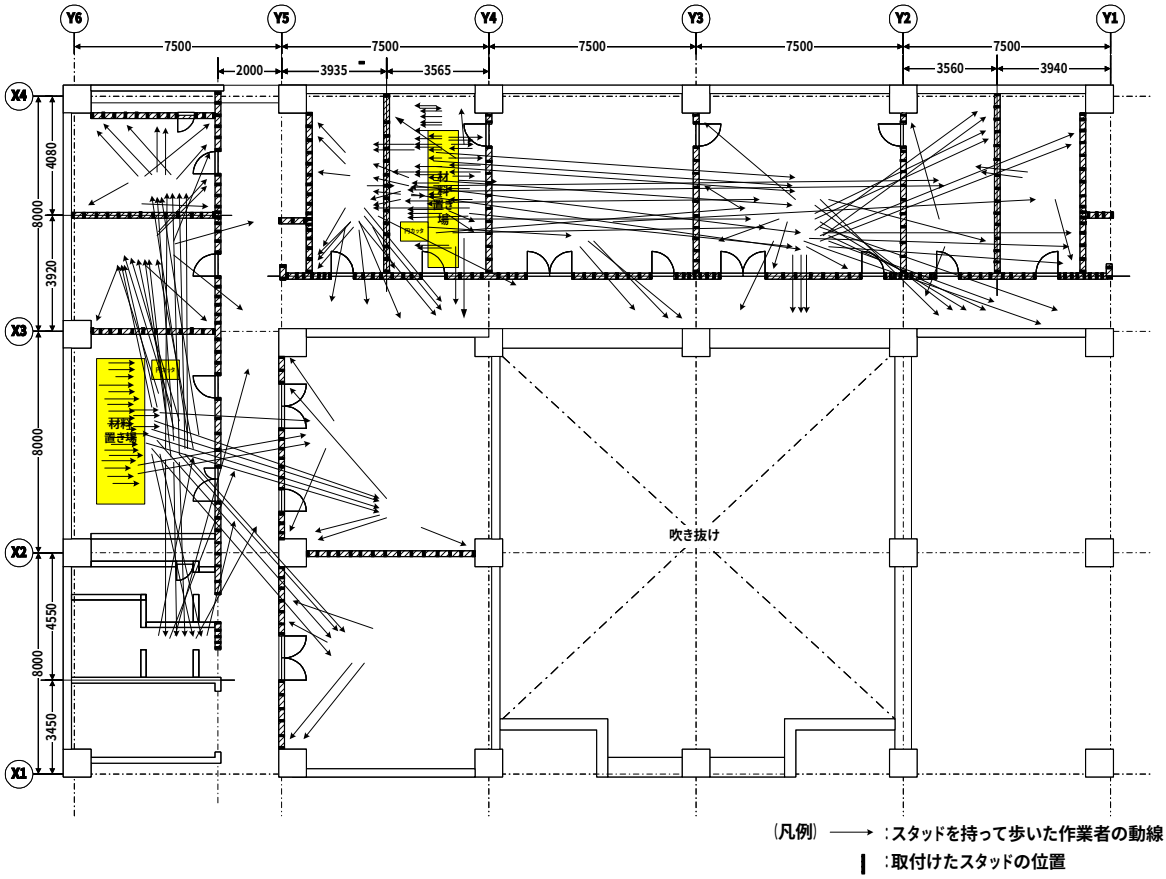



図.3.3.18 「スタッド材を手に持って運ぶ」の作業者の動線(単位：mm)

表.3.3.10 「スタッド材を手に持って運ぶ」における要素作業の作業時間の測定結果

| 要素作業 | 項目 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 測定回数 (回) | 合計作業時間 (秒) | 作業時間の割合 (%) | 平均作業時間 (秒/回) | 標準偏差 (秒/回) | 1本当りの作業時間 (秒/本) | 歩数の合計 (歩) |
| スタッド材を手に取る | 221 | 639.33 | 33.27 | 2.89 | 0.13 | 2.09 | 0 |
| スタッド材を手に持って歩く | 218 | 931.39 | 48.47 | 4.27 | 0.23 | 3.04 | 1555 |
| スタッド材を目的の位置に置く | 202 | 350.97 | 18.26 | 1.73 | 0.05 | 1.15 | 269 |

b.「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」－上部ランナ

上部ランナの取付けを行う 2 人の作業者が鋲打ち銃を用いて打つ 1 本の釘ごとの質的条件である「部位に対する釘の打つ順番」を対象に実測を行った。図.3.3.19 には実測した上部ランナの取付け状態を示す。表.3.3.11 には部位ごとに測定した質的条件を示す。測定した釘の全本数は 161 本であり、釘 1 本を打つ平均時間は 17.52 秒/本、標準偏差 0.68 秒/本であった。

c.「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」－床ランナ

床ランナの取付けを行う 2 人の作業者が鋲打ち銃を用いて打つ 1 本の釘ごとの質的条件である「部位に対する釘の打つ順番」「巻尺の使用有無」「釘の取り出し有無」を対象に実測を行った。図.3.3.20 には実測した床ランナの取付け状態を示す。表.3.3.12 には部位ごとに測定した質的条件を示す。測定した釘の全本数は 198 本であり、釘 1 本を打つ平均時間は 12.82 秒/本、標準偏差 0.43 秒/本であった。

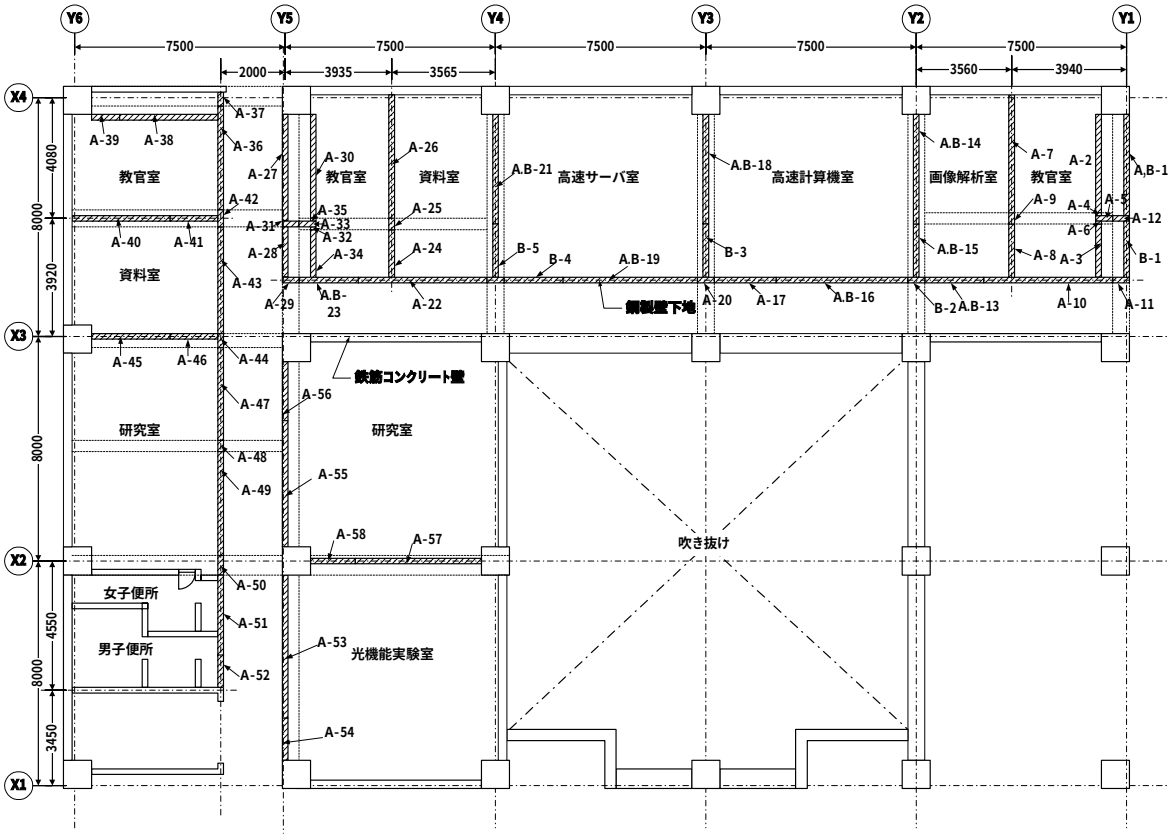



図.3.3.19　実測した上部ランナの取付けの状態(単位：mm)

表.3.3.11　上部ランナの質的条件の測定結果

| 部位の番号 | 長さ(mm) | 打つ釘の本数 | | | | | 部位の番号 | 長さ(mm) | 打つ釘の本数 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 釘の本数が2本で1回目に打つ場合 | 釘の本数が3本で1回目に打つ場合 | 釘の本数が4本で1回目に打つ場合 | 釘の本数が5本で1回目に打つ場合 | 2回目以後に打つ場合(本) | | | 釘の本数が2本で1回目に打つ場合 | 釘の本数が3本で1回目に打つ場合 | 釘の本数が4本で1回目に打つ場合 | 釘の本数が5本で1回目に打つ場合 | 2回目以後に打つ場合(本) |
| A.B-1 | 2600 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | A-33 | 400 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-2 | 3300 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-34 | 1800 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-3 | 1800 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-35 | 200 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-4 | 200 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-36 | 3600 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-5 | 400 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-37 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-6 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-38 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-7 | 3600 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | A-39 | 1400 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-8 | 1800 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-40 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-9 | 400 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-41 | 1800 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-10 | 4000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | A-42 | 400 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-11 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-43 | 3800 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-12 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-44 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A,B-13 | 2700 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-45 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A.B-14 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | A-46 | 1600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A.B-15 | 1570 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-47 | 3200 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A.B-16 | 4000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | A-48 | 400 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-17 | 2700 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-49 | 3600 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A.B-18 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | A-50 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A.B-19 | 4000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | A-51 | 3500 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-20 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-52 | 700 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A.B-21 | 4000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | A-53 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-22 | 4000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | A-54 | 2800 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A.B-23 | 2700 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-55 | 4000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| A-24 | 1800 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-56 | 2800 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| A-25 | 400 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | A-57 | 4000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| A-26 | 3600 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | A-58 | 2700 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-27 | 3300 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | B-1 | 1900 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-28 | 1900 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | B-2 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A-29 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | B-3 | 1570 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-30 | 3300 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | B-4 | 2700 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-31 | 600 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | B-5 | 1570 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| A-32 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 合計 | 138110 | 21 | 20 | 14 | 8 | 135 |

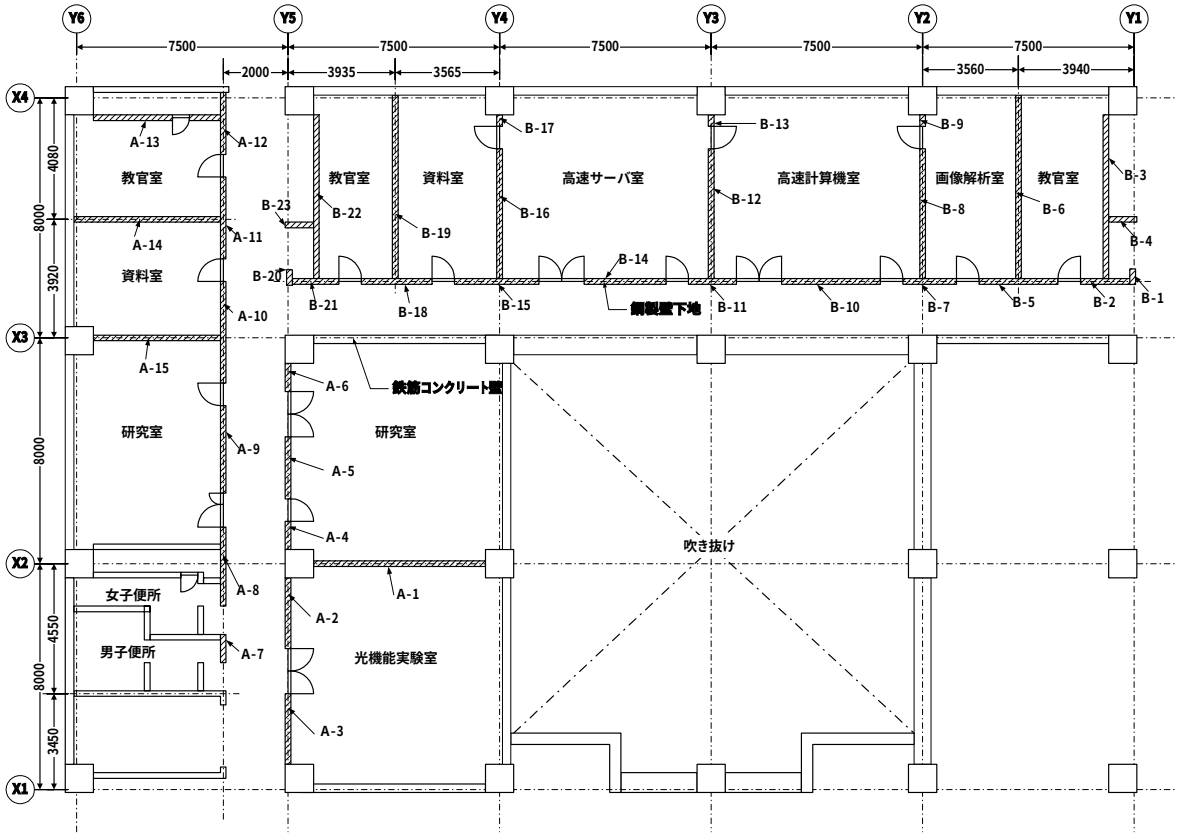



図.3.3.20　実測した床ランナの取付けの状態(単位：mm)

表.3.3.12　床ランナの質的条件の測定結果

| 部位の番号 | 長さ(mm) | 打つ釘の本数 | | | | | | | メジャーを使用する回数(回) | ポケットから釘を出す回数(回) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 取付ける部位の両端が障害物で、最初に打つ場合(本) | 取付ける部位の両端が障害物と建物の躯体で、最初に打つ場合(本) | 取付ける部位の両端が障害物と開口部で、最初に打つ場合(本) | 取付ける部位の両端が開口部と建物の躯体で、最初に打つ場合(本) | 取付ける部位の両端が開口部で、最初に打つ場合(本) | 取付ける部位に関わらず2回目に打つ場合(本) | 取付ける部位に関わらず3回目以後に打つ場合(本) | | |
| A-1 | 6400 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 4 |
| A-2 | 2560 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| A-3 | 2560 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| A-4 | 1235 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A-5 | 2225 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| A-6 | 930 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| A-7 | 1250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| A-8 | 3820 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| A-9 | 1935 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| A-10 | 3410 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| A-11 | 2860 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| A-12 | 2130 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| A-13 | 4910 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| A-14 | 5380 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 5 |
| A-15 | 4910 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| B-1 | 310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| B-2 | 1980 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| B-3 | 5570 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 9 |
| B-4 | 800 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| B-5 | 2890 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 6 |
| B-6 | 5880 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 | 9 |
| B-7 | 2000 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 6 |
| B-8 | 4425 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 6 |
| B-9 | 295 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| B-10 | 3200 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 5 |
| B-11 | 1750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| B-12 | 4425 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 6 |
| B-13 | 295 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| B-14 | 3200 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| B-15 | 2457 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 4 |
| B-16 | 4425 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| B-17 | 295 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| B-18 | 2820 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 5 |
| B-19 | 5880 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 7 |
| B-20 | 310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| B-21 | 1620 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| B-22 | 5570 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 3 | 2 | 10 |
| B-23 | 800 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 合計 | 107712 | 17 | 20 | 26 | 9 | 6 | 78 | 43 | 29 | 122 |

D.作業時間の推定式の作成

測定した「スタッド材を手に持って運ぶ」「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」の数量的条件と質的条件の関係を用いて推定式を作成した。以下の項目に推定式と推定結果を記す。

a.「スタッド材を手に持って運ぶ」の作業時間の推定結果

測定した結果、「スタッド材を手に持って運ぶ」を構成する要素作業である「スタッド材を手に取る」と「スタッド材を目的の位置に置く」の作業時間は質的条件と関係し、「スタッド材を手に持って歩く」の作業時間は数量的条件と関係するため、要素作業ごとに作業時間の推定式を作成した。

「スタッド材を手に取る」は作業者がスタッド材を取るために体を動かしてから部材を手に取って歩き出すまでの作業時間を目的変量とし、スタッド材の扱いの難易度を示す「手に持つスタッド材の数量」、作業姿勢の程度を示す「スタッド材を取る位置」、歩く準備の程度を示す「スタッド材を持つ形態」を説明変量として推定式を作成した。表.3.3.13 には、作業者 A における推定式 $Y_{2A}$ と作業者 B における推定式 $Y_{2B}$ を示す。

推定式の各変数のカテゴリーを決めて、数量化方法を用いて実測値からカテゴリースコ

アを算出した。表.3.3.14 には作業者 A における推定式の変数のカテゴリーとスコアを示す。推定式を用いて算出した作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.21 に示す如く、0.88 と相関関係である。表.3.3.15 には作業者 B における推定式の変数のカテゴリーとスコアを示す。推定式を用いて算出した作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.22 に示す如く、0.88 と相関関係である。

表.3.3.13 「スタッド材を手に取る」における作業時間の推定式と変数

| 要素作業 | 作業者 | 推定式 | 変数 |
|---|---|---|---|
| スタッド材を手に取る | A | $Y_{2A} = x_{1A} + x_{2A} + x_{3A} + a_A$ | $Y_{2A}$：作業者Aの1回のスタッド材を手に取るにおける作業時間<br>$x_{1A}$：作業者Aが手に持つスタッド材の数量<br>$x_{2A}$：作業者Aがスタッド材を取る位置<br>$x_{3A}$：作業者Aがスタッド材を持つ形態<br>$a_A$：定数項 |
| | B | $Y_{2B} = x_{1B} + x_{2B} + x_{3B} + a_B$ | $Y_{2B}$：作業者Bの1回のスタッド材を手に取るにおける作業時間<br>$x_{1B}$：作業者Bが手に持つスタッド材の数量<br>$x_{2B}$：作業者Bがスタッド材を取る位置<br>$x_{3B}$：作業者Bがスタッド材を持つ形態<br>$a_B$：定数項 |

表.3.3.14 作業者 A の「スタッド材を手に取る」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数 ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| A | 対象の状態 $x_{1A}$ | スタッド材の数量が1本から2本の場合 | -0.62 | 0.774 |
| | | スタッド材の数量が3本から4本の場合 | 0.15 | |
| | 取扱の方法 $x_{2A}$ | スタッド材を取った位置を変更しない場合 | -0.33 | |
| | | スタッド材を取った位置を変更する場合 | 1.13 | |
| | 保持の形態 $x_{3A}$ | 両手でスタッド材を持つ場合 | -0.82 | |
| | | 腰と手で押えてスタッド材を持つ場合 | -0.42 | |
| | | 肩の上に乗せてスタッド材を持つ場合 | 1.8 | |
| | $a_A$ | ー | 3.03 | |

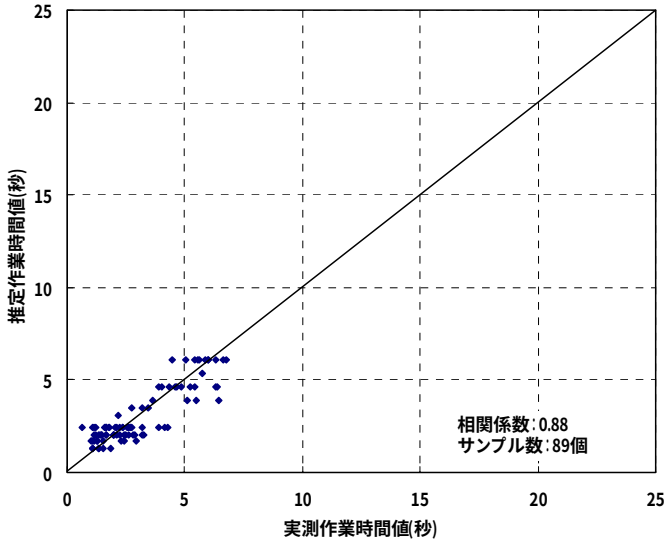



図.3.3.21 作業者 A の「スタッド材を手に取る」の作業時間の推定値と実測値の関係

表.3.3.15　作業者 B の「スタッド材を手に取る」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数 ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| B | 対象の状態 $x_{1B}$ | スタッド材の数量が1本から2本の場合 | -0.99 | 0.771 |
| | | スタッド材の数量が3本から4本の場合 | -0.5 | |
| | | スタッド材の数量が5本以上の場合 | 4.93 | |
| | 取扱の方法 $x_{2B}$ | スタッド材を取った位置を変更しない場合 | -0.14 | |
| | | スタッド材を取った位置を変更する場合 | 1.32 | |
| | 保持の形態 $x_{3B}$ | 両手でスタッド材を持つ場合 | -0.36 | |
| | | 腰と手で押えてスタッド材を持つ場合 | 0.09 | |
| | | 肩の上に乗せてスタッド材を持つ場合 | 0.49 | |
| | $a_B$ | ー | 2.80 | |

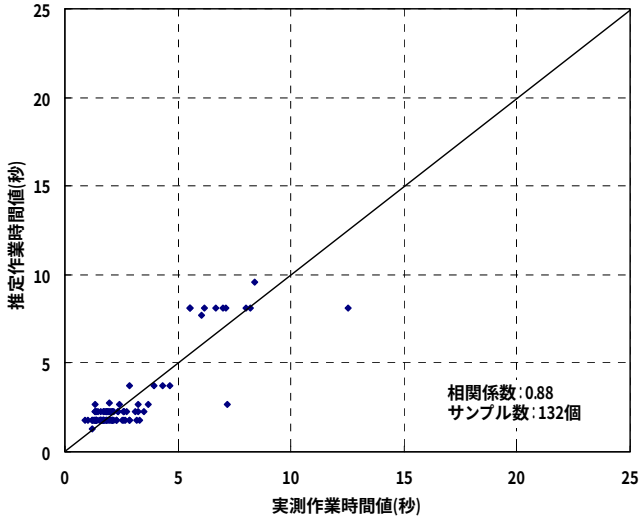



図.3.3.22　作業者 B の「スタッド材を手に取る」の作業時間の推定値と実測値の関係

「スタッド材を手に持って歩く」は作業者が手に部材を持って歩き出してから止まるまでの作業時間を目的変量とし、移動する距離の長さを示す「歩く歩数」を説明変量とした。「歩く歩数」は数量的条件であるため、重回帰分析を用いて重回帰式を求めた。表.3.3.16には「スタッド材を手に持って歩く」における作業時間の重回帰式と変数を示す。

重回帰式を用いて算出した作業者 A の作業時間の実測値と推定値の相関係数は図.3.3.23 に示す如く、0.98 と高い相関関係を示している。重回帰式を用いて算出した作業者 B 作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.24 に示す如く、0.99 と高い相関関係を示している。

表.3.3.16　「スタッド材を手に持って歩く」における作業時間の推定式と変数

| 要素作業 | 作業者 | 重回帰式 | 決定係数 ($R^2$) | 変数 |
|---|---|---|---|---|
| スタッド材を手に持って歩く | A | $Y_{3A} = 0.54^{**} \times x_1 + 0.37^{**}$ | 0.96 | $Y_{3A}$:作業者Aの1回のスタッド材を手に持って歩くにおける作業時間<br>$Y_{3B}$:作業者Bの1回のスタッド材を手に持って歩くにおける作業時間<br>$x_1$:1回の運搬における作業者の歩く歩数 |
| | B | $Y_{3B} = 0.52^{**} \times x_1 + 0.62^{**}$ | 0.99 | |

(注) 推定式の係数の信頼度を**:1%有意、*:5%有意とする

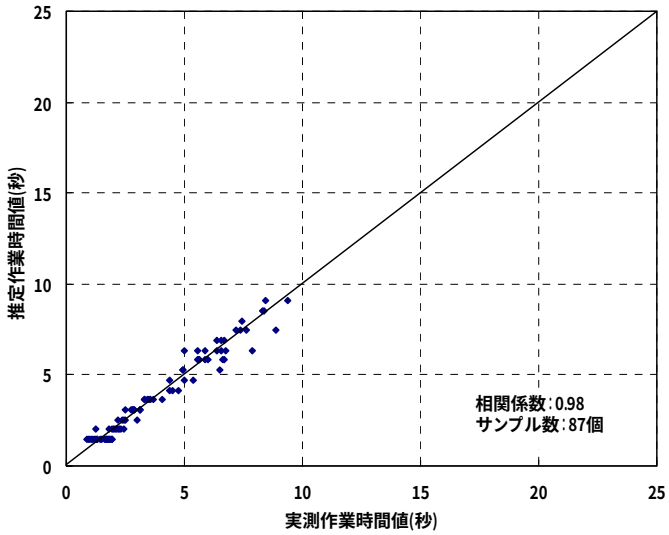



図.3.3.23 作業者 A の「スタッド材を手に持って歩く」の作業時間の推定値と実測値の関係

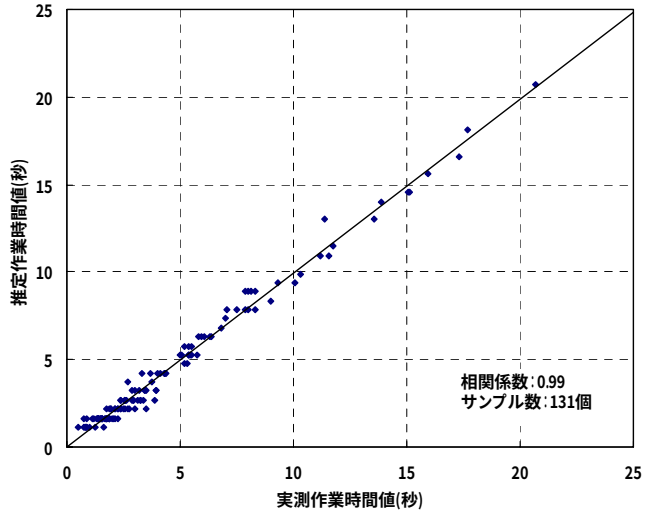



図.3.3.24 作業者 B の「スタッド材を手に持って歩く」の作業時間の推定値と実測値の関係

「スタッド材を目的の位置に置く」は作業者がスタッド材を持って歩きを止めてから部材を目的の位置に置き、手を離して次の作業を開始するまでの作業時間を目的変量とし、スタッド材の位置決めの有無を示す「スタッド材の置く位置の調整」、スタッド材の扱いの難易度を示す「手に持つスタッド材の数量」、置く位置の状態の程度を示す「スタッド材を置きながら歩く歩数」、作業姿勢の程度を示す「スタッド材から手を離す高さ」を説明変数として推定式を作成した。表.3.3.17 には、作業者 A における推定式 $Y_{4A}$ と作業者 B における推定式 $Y_{4B}$ を示す。

推定式の各変数のカテゴリーを決めて、数量化手法を用いて実測値からカテゴリースコアを算出した。表.3.3.18 には作業者 A における推定式の変数のカテゴリースコアを示す。推定式を用いて算出した作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.25 に示す如く、

0.82 と相関関係である。表.3.3.19 には作業者 B における推定式の変数のカテゴリースコアを示す。推定式を用いて算出した作業者 B の作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.26 に示す如く、0.84 と相関関係である。

表.3.3.17 「スタッド材を目的の位置に置く」における作業時間の推定式と変数

| 要素作業 | 作業者 | 推定式 | 変数 |
|---|---|---|---|
| スタッド材を目的の位置に置く | A | $Y_{4A} = x_{1A} + x_{2A} + x_{3A} + x_{4A} + a_A$ | $Y_{4A}$：作業者Aの1回のスタッド材を目的の位置に置くにおける作業時間<br>$x_{1A}$：作業者Aが行うスタッド材の位置調整<br>$x_{2A}$：作業者Aが手に持つスタッド材の数量<br>$x_{3A}$：作業者Aがスタッド材を置きながら歩く歩数<br>$x_{4A}$：作業者Aがスタッド材から手を離す高さ<br>$a_A$：定数項 |
| | B | $Y_{4B} = x_{1B} + x_{2B} + x_{3B} + x_{4B} + a_B$ | $Y_{4B}$：作業者Bの1回のスタッド材を目的の位置に置くにおける作業時間<br>$x_{1B}$：作業者Bが行うスタッド材の位置調整<br>$x_{2B}$：作業者Bが手に持つスタッド材の数量<br>$x_{3B}$：作業者Bがスタッド材を置きながら歩く歩数<br>$x_{4B}$：作業者Bがスタッド材から手を離す高さ<br>$a_B$：定数項 |

表.3.3.18 作業者 A の「スタッド材を目的の位置に置く」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数 ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| A | 位置の調整 $x_{1A}$ | スタッド材の置く位置を調整しない場合 | -0.19 | 0.67 |
| | | スタッドの置く位置を調整する場合 | 0.93 | |
| | 対象の状態 $x_{2A}$ | スタッド材の数量が1本から2本の場合 | -0.12 | |
| | | スタッド材の数量が3本から4本の場合 | 0.01 | |
| | 取扱の方法 $x_{3A}$ | スタッド材を置きながら歩かない場合 | -0.12 | |
| | | スタッドを置きながら1歩歩いた場合 | 0.27 | |
| | | スタッドを置きながら2歩歩いた場合 | 0.64 | |
| | 身体の状態 $x_{4A}$ | スタッドから手を離す高さが腰より低い場合 | 0.14 | |
| | | スタッドから手を離す高さが腰より高い場合 | -0.4 | |
| | $a_A$ | ー | 1.70 | |

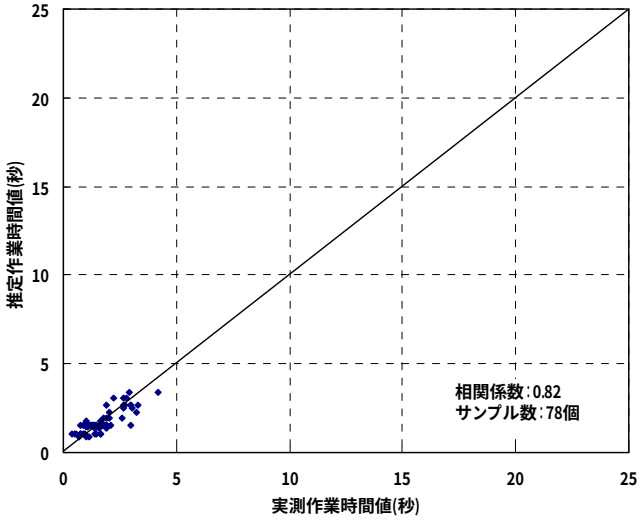



図.3.3.25 作業者A「スタッド材を目的の位置に置く」の作業時間の推定値と実測値の関係

表.3.3.19 作業者 B の「スタッド材を目的の位置に置く」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数 ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| B | 位置の調整 $x_{1B}$ | スタッド材の置く位置を調整しない場合 | -0.17 | 0.705 |
| | | スタッドの置く位置を調整する場合 | 1.07 | |
| | 対象の状態 $x_{2B}$ | スタッド材の数量が1本から2本の場合 | -0.24 | |
| | | スタッド材の数量が3本から4本の場合 | -0.13 | |
| | | スタッド材の数量が5本以上の場合 | 1.32 | |
| | 取扱の方法 $x_{3B}$ | スタッド材を置きながら歩かない場合 | -0.11 | |
| | | スタッドを置きながら1歩歩いた場合 | 0.13 | |
| | | スタッドを置きながら2歩歩いた場合 | 0.82 | |
| | 身体の状態 $x_{4B}$ | スタッドから手を離す高さが腰より低い場合 | 0.05 | |
| | | スタッドから手を離す高さが腰より高い場合 | -0.08 | |
| | $a_B$ | ー | 1.76 | |

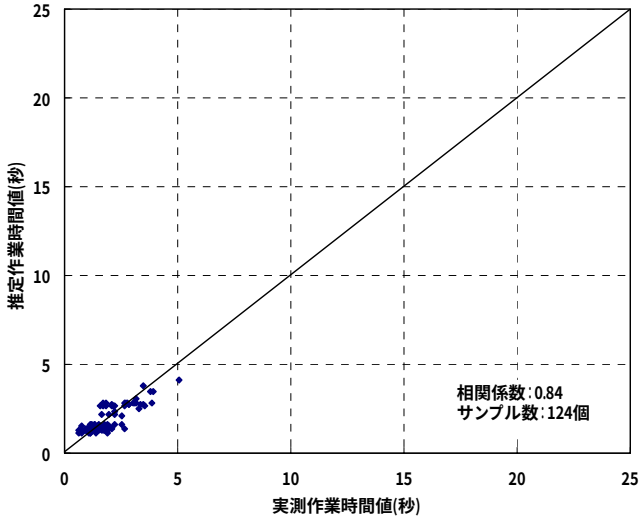



図.3.3.26 作業者 B「スタッド材を目的の位置に置く」の作業時間の推定値と実測値の関係

b.「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」の作業時間の結果

測定した「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」を構成する要素作業である「取付け位置に床ランナを合わせる」、「腰ポケットから鋲を取り出し、鋲打ち銃に合わせる」、「鋲打ち銃を位置に合わせて打つ」の作業時間は質的条件と関係するため、単位作業の作業時間を対象に推定式を作成した。

作業者が 1 本の鋲をランナ材に打ち付けるために鋲打ち銃に火薬と鋲を充填して、ランナ材を床の取付け位置に正確に合わせて、鋲を打つまでの作業時間を目的変量とし、鋲の準備状態の有無を示す「鋲打ち銃に鋲を充填する方法」、位置合わせに用いる道具の有無を示す「ランナ材の位置合わせにメジャーの使用」、ランナ材の位置調整の難易度を示す「取付け部位と鋲打ち銃を打つ場所」を説明変量として推定式を作成した。表.3.3.20 には、作業者 A における推定式 $Y_{5A}$ と作業者 B における推定式 $Y_{5B}$ を示す。

推定式の説明変数のカテゴリーを決めて、数量化手法を用いて実測値からカテゴリースコアを算出した。表.3.3.21 には作業者 A における推定式の変数のカテゴリーとスコアを

示す。推定値を用いて算出した作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.7 に示す如く、0.88 と相関関係である。表.3.3.22 には作業者 B における推定式の変数のカテゴリーとスコアを示す。推定式を用いて算出した作業者 B における作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.28 に示す如く、0.87 と相関関係である。

表.3.3.20 「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」における作業時間の推定式と変数

| 要素作業 | 作業者 | 推定式 | 変数 |
|---|---|---|---|
| 床ランナの取付け | A | $Y_{5A} = x_{1A} + x_{2A} + x_{3A} + a_A$ | $Y_{5A}$：作業者Aの鋲打ち銃を用いて1本の鋲をランナに打ち付けるにおける作業時間<br>$x_{1A}$：作業者Aが鋲打ち銃に鋲を充填する方法<br>$x_{2A}$：作業者Aが位置調整にメジャーを使用<br>$x_{3A}$：作業者Aが取付ける部位と鋲打ち銃を打つ場所<br>$a_A$：定数項 |
| | B | $Y_{5B} = x_{1B} + x_{2B} + x_{3B} + a_B$ | $Y_{5B}$：作業者Bの鋲打ち銃を用いて1本の鋲をランナに打ち付けるにおける作業時間<br>$x_{1B}$：作業者Bが鋲打ち銃に鋲を充填する方法<br>$x_{2B}$：作業者Bが位置調整にメジャーを使用<br>$x_{3B}$：作業者Bが取付ける部位と鋲打ち銃を打つ場所<br>$a_B$：定数項 |

表.3.3.21 作業者 A の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数 ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| A | 工具の状態 $x_{1A}$ | 腰ポケットから取り出して鋲を充填する場合 | 3.05 | 0.78 |
| | | 手に持った鋲を充填する場合 | -0.99 | |
| | 調整の方法 $x_{2A}$ | 位置調整にメジャーを用いない場合 | -0.39 | |
| | | 位置調整にメジャーを用いる場合 | 7.54 | |
| | 場所の状態 $x_{3A}$ | 取付ける部位の両端が配線で、固定されてないランナ材に打つ場合 | 3.71 | |
| | | 取付ける部位の両端が障害物と躯体で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 3.65 | |
| | | 取付ける部位の両端が配線と開口部で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 5.62 | |
| | | 取付ける部位の両端が躯体と開口部で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 1.11 | |
| | | 取付ける部位の両端が開口部で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 7.56 | |
| | | 取付ける部位の状態に関らず、1点が固定されたランナ材を打つ場合 | -2.43 | |
| | | 取付ける部位の状態に関らず、2点以上が固定されたランナ材を打つ場合 | -3.53 | |
| | $a_A$ | ー | 12.46 | |

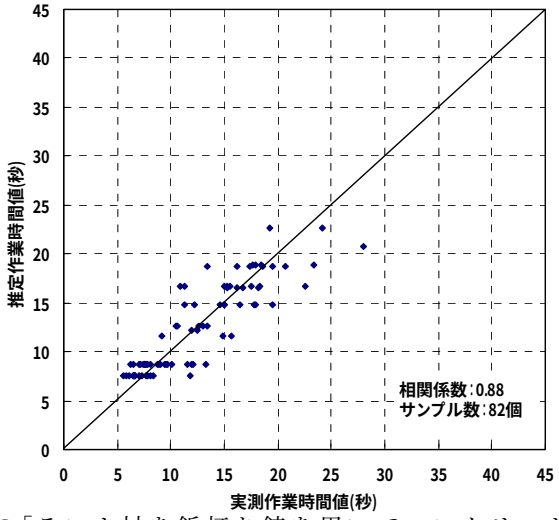



図.3.3.27 作業者 A の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」における作業時間の推定値と実測値の関係

表.3.3.22　作業者 B の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| B | 工具の状態 $x_{1B}$ | 腰ポケットから取り出して鋲を充填する場合 | 0.35 | 0.76 |
| | | 手に持った鋲を充填する場合 | -1.96 | |
| | 調整の方法 $x_{2B}$ | 位置調整にメジャーを用いない場合 | -1.61 | |
| | | 位置調整にメジャーを用いる場合 | 6.00 | |
| | 場所の状態 $x_{3B}$ | 取付ける部位の両端が配線で、固定されてないランナ材に打つ場合 | 2.80 | |
| | | 取付ける部位の両端が障害物と躯体で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 6.99 | |
| | | 取付ける部位の両端が配線と開口部で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 6.45 | |
| | | 取付ける部位の両端が躯体と開口部で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 4.85 | |
| | | 取付ける部位の両端が開口部で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 7.11 | |
| | | 取付ける部位の状態に関らず、1点が固定されたランナ材を打つ場合 | -3.02 | |
| | | 取付ける部位の状態に関らず、2点以上が固定されたランナ材を打つ場合 | -4.44 | |
| | $a_B$ | ー | 13.07 | |

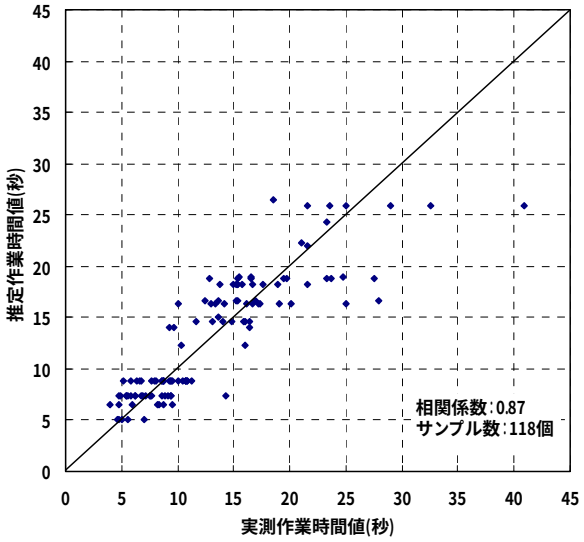



図.3.3.28　作業者 B の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」における作業時間の推定値と実測値の関係

c.「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」の作業時間の推定結果

測定した「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」を構成する要素作業である「取付け位置に上部ランナを合わせる」、「腰ポケットから鋲を取り出し、鋲打ち銃に合わせる」、「鋲打ち銃を位置に合わせて打つ」の作業時間は質的条件と関係するため、単位作業の作業時間を対象に推定式を作成した。

作業者が 1 本の鋲をランナ材に打ち付けるために鋲打ち銃に火薬と鋲を充填して、ランナ材を天井の取付け位置に正確に合わせて、鋲を打つまでの作業時間を目的変量とし、ランナ材の位置調整における難易度を示す「1 本のランナ材に打ち付ける鋲の本数と打つ順番」、取付けのための保持の有無を示す「ランナ材における鋲を打つ場所」を説明変数として推定式を作成した。表.3.3.23 には、作業者 A における推定式 $Y_{6A}$ と作業者 B における推定式 $Y_{6B}$ を示す。

推定式の説明変量のカテゴリーを決めて、数量化手法を用いて実測値からカテゴリースコアを算出した。表.3.3.24 には作業者 A における推定式の変数のカテゴリーとスコアを示す。推定式を用いて算出した作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.29 に示す如く、0.89 と相関関係である。表.3.3.25 には作業者 B における推定式の変数のカテゴリーとスコアを示す。推定式を用いて算出した作業者 B の作業時間の推定値と実測値の相関係数は図.3.3.30 に示す如く、0.95 と相関関係である。

表.3.3.23 「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」－上部ランナにおける作業時間の推定式と変数

| 要素作業 | 作業者 | 推定式 | 変数 |
|---|---|---|---|
| 床ランナの取付け | A | $Y_{6A} = x_{1A} + x_{2A} + a_A$ | $Y_{6A}$：作業者Aの鋲打ち銃を用いて1本の鋲をランナに打ち付けるにおける作業時間<br>$x_{1A}$：作業者Aが取付けに必要な鋲の本数と鋲を打つ順番<br>$x_{2A}$：作業者Aがランナ材の鋲を打つ場所<br>$a_A$：定数項 |
| | B | $Y_{6B} = x_{1B} + x_{2B} + a_B$ | $Y_{6B}$：作業者Bの鋲打ち銃を用いて1本の鋲をランナに打ち付けるにおける作業時間<br>$x_{1B}$：作業者Bが取付けに必要な鋲の本数と鋲を打つ順番<br>$x_{2B}$：作業者Bがランナ材の鋲を打つ場所<br>$a_B$：定数項 |

表.3.3.24 作業者 A の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数 ($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| A | 対象の状態 $x_{1A}$ | 取付けに必要な鋲が2本で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 6.76 | 0.79 |
| | | 取付けに必要な鋲が3本で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 9.96 | |
| | | 取付けに必要な鋲が4本で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 11.12 | |
| | | 取付けに必要な鋲が5本で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 23.9 | |
| | | 取付けに必要な鋲の本数に関らず、固定されたランナ材を打つ場合 | -5.03 | |
| | 場所の状態 $x_{2A}$ | 鋲を打つ場所がランナ材の両端である場合 | -0.39 | |
| | | 鋲を打つ場所がランナ材の両端でない場合 | 0.78 | |
| | $a_A$ | ー | 17.77 | |

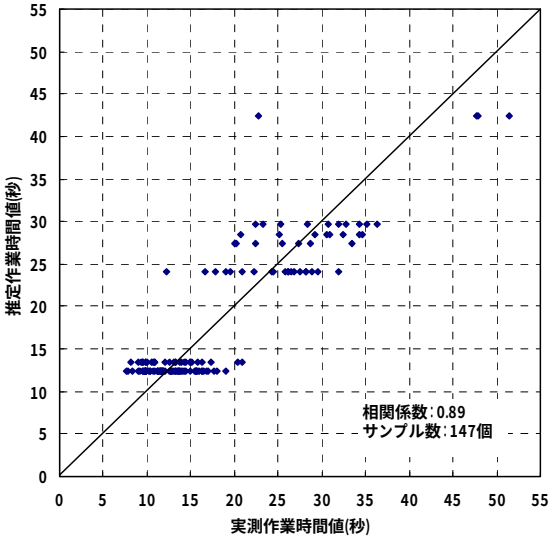



図.3.3.29 作業者 A の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」における作業時間の推定値と実測値の関係

表.3.3.25 作業者 B の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」の推定式の変数のカテゴリーとスコア

| 作業者 | 変数 | カテゴリー | カテゴリースコア | 決定係数($R^2$) |
|---|---|---|---|---|
| B | 対象の状態 $x_{1B}$ | 取付けに必要な鋲が2本で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 11.28 | 0.9 |
| | | 取付けに必要な鋲が3本で、固定されてないランナ材を打つ場合 | 9.47 | |
| | | 取付けに必要な鋲の本数に関らず、固定されたランナ材を打つ場合 | -5.46 | |
| | 場所の状態 $x_{2B}$ | 鋲を打つ場所がランナ材の両端である場合 | -0.08 | |
| | | 鋲を打つ場所がランナ材の両端でない場合 | 0.19 | |
| | $a_B$ | ー | 14.93 | |

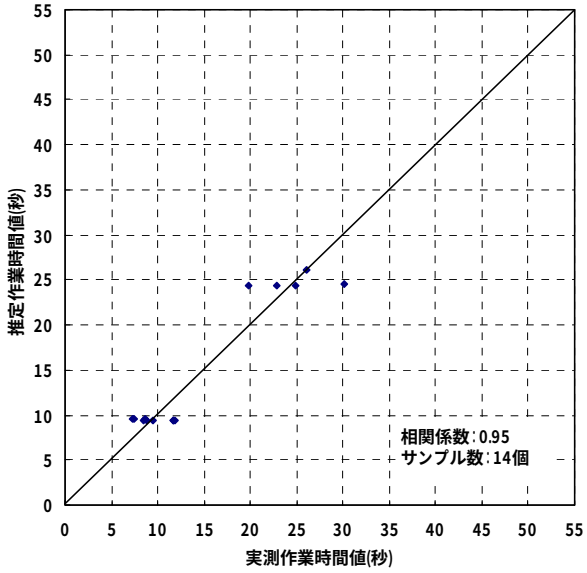



図.3.3.30 作業者 B の「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」における作業時間の推定値と実測値の関係

3.3.4.結

作業の条件を作業時間の推定に用いる場合、「数量的条件」と「質的条件」に分類することを述べ、その分類の概念について示した。

「数量的条件」を用いた作業時間の推定として、重回帰分析を用いた単位作業レベルにおける作業時間の推定方法を提案し、その手順を示した。(図.3.1.1 参照)

「質的条件」の用いた作業時間の推定として、数量化Ⅰ類手法を用いた単位作業レベルにおける作業時間の推定方法を提案し、その手順を示した。(図.3.3.2 参照)

提案した「数量的条件」を用いる推定方法の適用を検討するために、壁石膏ボード取付け作業の実態調査に基づいて作業の分割を行い、1 枚のボードの取付けにおける単位作業の時間値と数量的条件を測定した。(表.3.3.1、表.3.3.2 参照) 要素作業レベルの作業フローを作成し、1 枚のボード取付け作業を構成する作業の内容を明確にした。(図.3.3.8、図.3.3.9 参照)測定した作業時間の実測値と数量的条件を用いて「移動」「運搬」「計測」「加工の設置と寸法チェック」「加工の切断」「取付け」の作業時間の推定式を作成し、推定時間値を求めた。(表.3.3.3～表.3.3.9 参照) 以下の項目に作業時間の実測値と推定値の相関係数を

示す。

① 「移動」の相関係数は 0.99 であった。(図.3.3.10 参照)

② 「運搬」の相関係数は 0.94 であった。(図.3.3.11 参照)

③ 「計測」の相関係数は 0.91 であった。(図.3.3.12 参照)

④ 「加工の設置と寸法チェック」の相関係数は 0.82 であった。(図.3.3.13 参照)

⑤ 「加工の切断」の相関係数は 0.94 であった。(図.3.3.14 参照)

⑥ 「取付け」の相関係数は 0.87 であった。(図.3.3.15 参照)

1 枚のボードの取付けにおけるまとまり作業の作業時間の実測値と推定値の相関係数は 0.93 であった。(図.3.3.16 参照) その結果、数量的条件に基づいた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。また、ボードの形という「質的条件」によって作業時間が変化する「加工」「計測」は、要素作業レベルで分割を行い、「数量的条件」に適用できる要素作業に対して推定式を作成する必要があることを明らかにした。

提案した「質的条件」を用いる推定方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて「スタッド材を手に持って運ぶ」「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」の作業の分割を行い、要素作業の時間値と質的条件及び、数量的条件を測定した。(表.3.3.10～表.3.3.12 参照) 測定した作業時間の実測値と作業の条件を用いて推定式を作成し、作業時間の推定値を求めた。(表.3.3.13～表.3.3.25 参照) 作業時間の推定値と実測値の相関関係を以下の項目に示す。

① 「スタッド材を手に持って運ぶ」は数量的条件を用いて推定式を作成した「スタッド材を手に持て歩く」の相関関係は 0.98 であった。質的条件を用いた「スタッド材を手に取る」と「スタッド材を目的の位置に置く」の相関係数は 0.88 と 0.83 であった。(図.3.3.21～図.3.3.26 参照)

② 「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」は質的条件を用いて単位作業の作業時間を推定した、その相関係数は 0.87 であった。(図.3.3.27、図.3.3.28 参照)

③ 「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」は質的条件を用いて単位作業の作業時間を推定した、その相関係数は 0.89 であった。(図.3.3.29、図.3.3.30 参照)

以上の結果、質的条件に基づいた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。

## 3.4.**結言**

A.作業の実績に基づいた作業時間の推定

作業の実績の特性値を作業時間の推定に用いる場合、現状における特性値の算出方法の問題点を指摘した。(表.3.1.1 参照) それに基づいて、単位作業レベルの特性値の算出方法を提案し、その手順を示した。(図.3.1.1 参照)

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて作業分割と作業時間の測定を行った。(図.3.1.4 参照) 測定した作業時間は取付けの部位ごとに、要素作業のレベルで集計した。

以下の項目における各要素作業の作業時間の統計値および、まとまり作業に対する単位作業の分類項目別の作業時間の割合を求め、その結果を示した。

① 「上部ランナの取付け」(表.3.1.2 作業) (図.3.1.5 参照)

② 「床ランナの取付け」(表.3.1.3 参照) (図.3.1.6 参照)

③ 「スタッドの取付け」(表.3.1.4 参照) (図.3.1.7 参照)

④ 「振れ止めの取付け」(表.3.1.5 参照) (図.3.1.8 参照)

⑤ 「方立ての取付け」(表.3.1.6 参照) (図.3.1.9 参照)

⑥ 「まぐさの取付け」(表.3.1.7 参照) (図.3.1.10 参照)

以上の取付けの部位における単位作業の作業時間の集計結果を、積算した施工量で除して算出した特性値を示した。(表.3.1.9 参照)

以上の検討の結果から、提案した算出方法を用いて求めた特性値は作業時間の推定に有効であることを確認した。

B.作業者の動作に基づいた作業時間の推定

作業者の動作に基づいて作業時間の推定を行う場合、作業条件による単位動作の内容を推定するための方法の必要性を指摘した。単位動作の時間設定を MOST 手法におけるシーケンス・モデルを用いて行い (図.3.2.2 参照)、要素作業の作業時間の推定式を作成するため手順を示し (図.3.2.1 参照)、MOST－計算用紙を用いた設定の事例を示した (図.3.2.2 参照)。また、作業条件に対する作業内容を具現化するための、作業フローの作成方法を提案した。(図.3.2.3 参照)

提案した方法の適用を検討するために、木製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて作業時間と作業者の動作の測定行い、作業を分割した。(図.3.2.10 参照)

推定式の作成は、1 本の部材の取付けにおける要素作業ごとに行った。(表.3.2.4 参照) また、要素作業レベルの作業フローを作成した。(図.3.2.1 参照)

作成した要素作業の作業時間の推定式に実測した動作の発生回数（表.3.2.5、表.3.2.6参照）を代入して、単位作業の作業時間の推定値を算出し、その統計値を示した（表.3.2.7参照）。

推定式を用いて算出した取付けの作業時間の推定値と実測値の相関係数は 0.82 であった。（図.3.2.13 参照）その結果、作業者の動作を用いた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。また、取付けの作業方法と作業時間の推定値の誤差の関係を検討するため、各部位を 4 つのカテゴリーに分類して作業時間の推定値と実測値の相関係数を求めた結果、0.79 から 0.91 までであった。（図.3.2.14～図.3.2.17 参照）その結果、「取付け部位の寸法を測る」「部材を取付けの位置に正確に合わせる」などのような「戸惑い」「考える」といった予測出来ない作業者の動作が多く含まれる作業の場合、作業時間の実測値に対する推定値の誤差が多く生じることを明らかにした。

以上の検討の結果から、提案した推定方法は作業時間の推定に有効であることを確認した。

C.作業の条件に基づいた作業時間の推定

作業の条件を作業時間の推定に用いる場合、「数量的条件」と「質的条件」に分類することを示した。「数量的条件」の内容を定義し、重回帰分析を用いた作業時間の推定方法の手順を示した。（図.3.1.1 参照）

提案した方法の適用を検討するために、壁石膏ボード取付け作業の実態調査に基づいて作業の分割を行い、1 枚のボードを取付けにおける単位作業の時間値と数量的条件を測定した。（表.3.3.1、表.3.3.2 参照）測定した実測値を用いて「移動」「運搬」「計測」「加工の設置と寸法チェック」「加工の切断」「取付け」の作業時間の推定式を作成し、作業時間の推定値を求めた。（表.3.3.3～表.3.3.8 参照）

「移動」における作業時間の実測値と推定値の相関係数は 0.99 であった。（図.3.3.10 参照）「運搬」における相関係数は 0.94 であった。（図.3.3.11 参照）「計測」における相関係数は 0.91 であった。（図.3.3.12 参照）「加工の設置と寸法チェック」における相関係数は 0.82 であった。（図.3.3.13 参照）「加工の切断」における相関係数は 0.94 であった。（図.3.3.14 参照）「取付け」における相関係数は 0.87 であった。（図.3.3.15 参照）

1 枚のボードの取付けにおけるまとまり作業の作業時間の実測値と推定値の相関係数は 0.93 であった。（図.3.3.16 参照）その結果、数量的条件に基づいた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。

「質的条件」の内容を定義し、数量化Ⅰ類手法を用いた作業時間の推定方法の手順を示

した。(図.3.3.2 参照)

提案した方法の適用を検討するために、鋼製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて「スタッド材を手に持って運ぶ」「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」の作業の分割を行い、要素作業の時間値と質的条件及び、数量的条件を測定した。(表.3.3.10～表.3.3.12 参照) 測定した実測値を用いて推定式を作成し、作業時間の推定値を求めた。(表.3.3.13～表.3.3.25 参照)

「スタッド材を手に持って運ぶ」は数量的条件と質的条件を用いて分割して要素作業別の推定式を作成した。数量的条件を用いた「スタッド材を手に持て歩く」の作業時間の実測値と推定値の相関関係は 0.98 であった。質的条件を用いた「スタッド材を手に取る」と「スタッド材を目的の位置に置く」の相関係数は 0.88 と 0.83 であった。(図.3.3.21～図.3.3.30 参照)

「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－床ランナ」は質的条件を用いて単作業時間を推定した、その相関係数は 0.87 であった。(図.3.3.27、図.3.3.28 参照)

「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける－上部ランナ」は質的条件を用いて作業時間を推定した、その相関係数は 0.89 であった。(図.3.3.27、図.3.3.28 参照)

以上の結果、数量的条件と質的条件に基づいた作業時間の推定方法は有効であることを確認した。

# 第 4 章　作業内容の推定方法に関する研究

# 第 4 章　作業内容の推定方法に関する研究

## 4.1.作業者の姿勢の特性値

### 4.1.1.姿勢の測定方法

作業者は与えられた部材の属性、作業方法、作業場の状況、使用する工具に合わせて身体部位を動かしながら作業を行う。作業者が如何なる作業を実施しているかについて把握するためのモニタリングは、腕、頭、脚などの身体部位の位置関係である作業者の姿勢を数量のデータに変換し、そのデータから作業の内容を推定できれば容易になると考えられる。そこで、作業者の姿勢を数量のデータに変換して収集するために、作業者の身体部位の「作業を行う空間における位置」と「移動する速さ」を 6 自由度データとして捉える方法を提案する。なお、6 自由度データとは、身体部位の位置を 3 次元空間における座標(X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸)、傾斜角度(X 軸、Y 軸、Z 軸回りの 3 つ)の計 6 つの値を時系列で収集したデータを意味する。

データの測定に用いる機器は、航空機等の方向や位置を 3 次元空間で制御するためのデータ収集用に開発された 6 自由度センサーである。表.4.1.1 には 6 自由度データの測定に用いたセンサーの特性を示す。表に示す如く、センサーは X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれの角度データを測定するジャイロと加速度を測定する加速度計が入るセンサーユニットと測定したデータをデジタル信号に変換するためのプロセッサーユニットによって構成される。センサーの出力周期は 10HZ であり、データの範囲は X 軸の角度データが±180°、Y 軸の角度データが±90°、Z 軸の角度データが±180°であり、X 軸の加速度データが±2G、Y 軸の加速度データが±2G、Z 軸の加速度データが±2G である。

表.4.1.1　6 自由度データの測定に用いたセンサーの特性 [70)]

| 項目 | 内容 | |
|---|---|---|
| 構成 | 3 軸のジャイロと 3 軸の加速度計 | |
| 重さ | プロセッサーユニット：約 170g | |
| | センサーユニット：約 40g | |
| 大きさ | プロセッサーユニット 75×85.5×41（mm） | |
| | センサーユニット：35.2×37×33.2（mm) | |
| 出力データ | 3 軸角度と 3 軸加速度 | |
| 出力周期 | 10HZ | |
| 出力範囲 | 角度データ | X 軸：±180° |
| | | Y 軸：±90° |
| | | Z 軸：±180° |
| | 加速度データ | X 軸：±2G |
| | | Y 軸：±2G |
| | | Z 軸：±2G |

注 1）G は重力加速度 9.8m/s² を示す　注 2)日本航空電子工業株式会社のセンサー取扱説明書から引用

センサーの軸とデータの特性を図.4.1.1 に示す。図に示す如く、センサーユニットの本体の中心を原点とする X 軸、Y 軸、Z 軸における角度データは回転の方向によって+と－の値を出力する。加速度データは重力の方向に対する軸の傾きと移動する方向によって+と－の値を出力する。

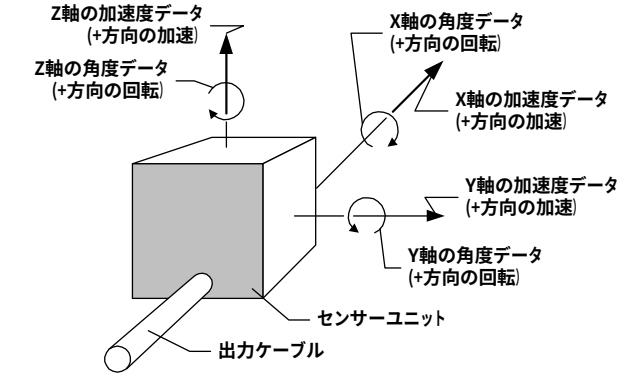



図.4.1.1　センサー軸とデータの特性

作業の実行中における作業者の姿勢を正確にデータ化するためには、作業者の身体各部位に 6 自由度センサーを装着する必要がある。しかし、多くのセンサーを作業者に装着すると作業に支障を来たすとともに､センサーから出力されるデータの処理能力の制約から、本研究では 3 つのセンサーを作業者に装着し、データを収集することとした。

センサーは以下に記す事項を考慮して、頭、腕、脚の 3 箇所に装着した。

① 実施する作業の特徴を 6 自由度データとして得られる位置

② センサーの装着によって作業に支障を与えない位置

③ 作業現場においてセンサーの装着・取外しが容易な位置

センサーを装着した作業者の状態を図.4.1.2 に示す。先ず、身体の上下、前後、左右の位置、及び回転に関する姿勢のデータを収集するため、安全帽の上にボルトでセンサーを固定した。次に作業者の利き腕における姿勢のデータを収集するために、右前腕部にテープでセンサーを固定した。また、脚の動きを捉えるため、右脚下腿部にテープでセンサーを固定した。

各センサーから出力されるアナログデータをデジタルデータに変換するプロセッサーユニットと電池電源は作業者の腰ベルトに固定している。作業者に装着したプロセッサーユニットからコンピュータの記録装置へのデータの伝送はＲＳ－232Ｃケーブルを用いた。なお、今回の研究では、センサーからのデータの送信は有線を使用したが、工事現場での適用には無線による送信が考えられる。

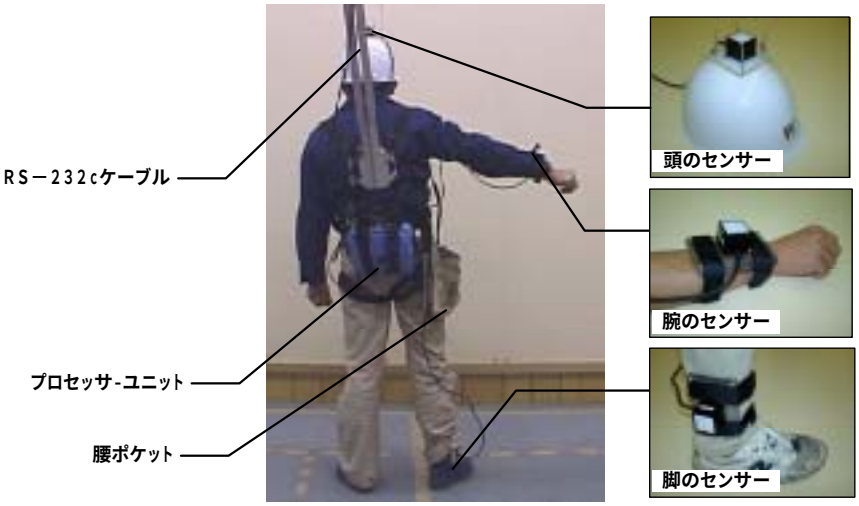



図.4.1.2　センサーを装着した作業者の状態

作業者の身体部位の動きに合わせて、毎秒 10 個の 3 軸の角度データと 3 軸の加速度データを収集し、これを一旦コンピュータに記録し、測定データとした。頭、腕、脚のセンサーを用いて収集したデータの事例として、図.4.1.3 には頭を前後に動かして収集した頭のセンサーにおける出力データの例を示す。図に示す如く、頭の前後の移動を概ね 0 度から 90 度までのセンサーの Y 軸回転として角度データを出力した。また、X 軸と Z 軸の角度データの変化は、センサーにおけるジャイロのジンバルロックの補正値である。加速度データは、Z 軸方向は概ね 0G から－1G までのデータを出力し、X 軸方向は概ね 0G から－1.5G までのデータを出力し、Y 軸は微妙に変化するデータを出力した。

図.4.1.4 には腕を横に平行に動かして収集した腕のセンサーにおける出力データの例を示す。図に示す如く、横方向の手の移動を右方向の場合は概ね 0 度から+135°まで、左方向の場合は概ね 0 度から－90 度までのセンサーの Z 軸回転として角度データを出力した。また､手がほぼ平行に移動したため､X 軸と Y 軸は微妙に変化する角度データを出力した。加速度データは、X 軸方向は概ね 0G から＋1.5G までのデータを出力し、Y 軸と X 軸は微妙に変化するデータを出力した。

図.4.1.5 には脚を曲げ座らせて収集した脚のセンサーにおける出力データの例を示す。図に示す如く､脚の前後斜め方向の移動を概ね 0 度から＋90 度までのサンサーの Z 軸回転及び､概ね 0 度から+40 度までのセンサーの X 軸回転として角度データを出力した｡また、Y 軸は微妙に変化する角度データを出力した。加速度データは、X 軸方向は概ね 0G から－1G までのデータを出力し、Y 軸は概ね 0G から＋1.5G までのデータを出力し、Z 軸は微妙に変化するデータを出力した。

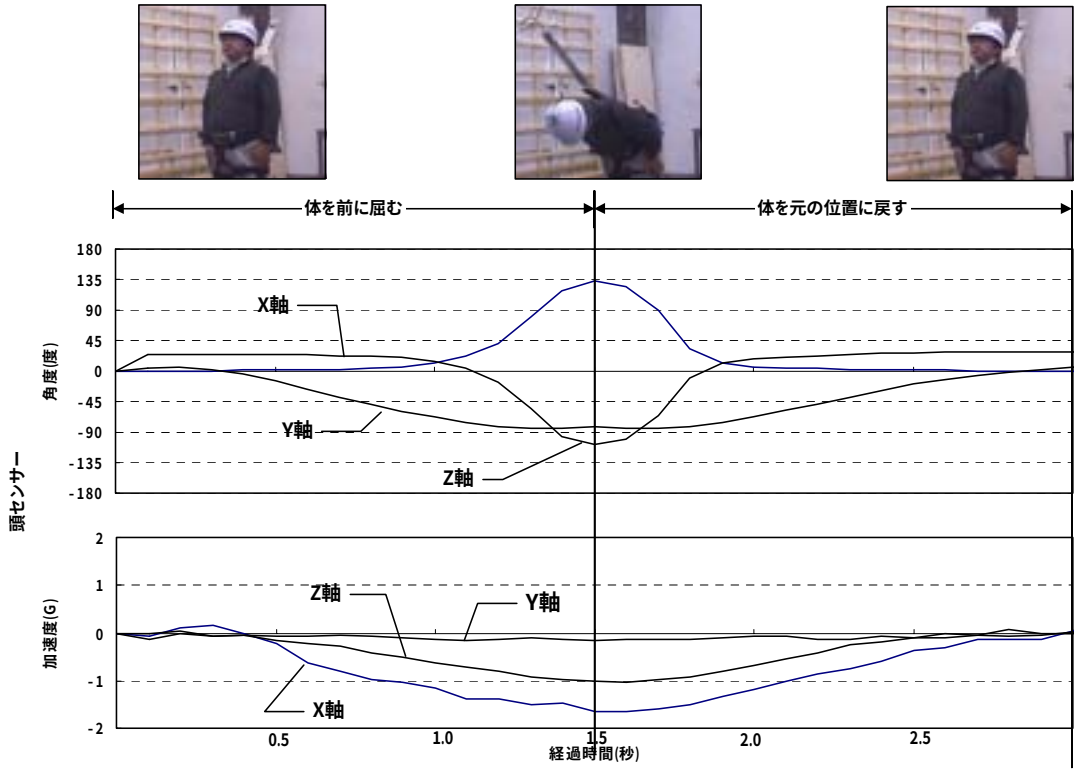



図.4.1.3　頭のセンサーの出力事例(頭を前後に動かす)

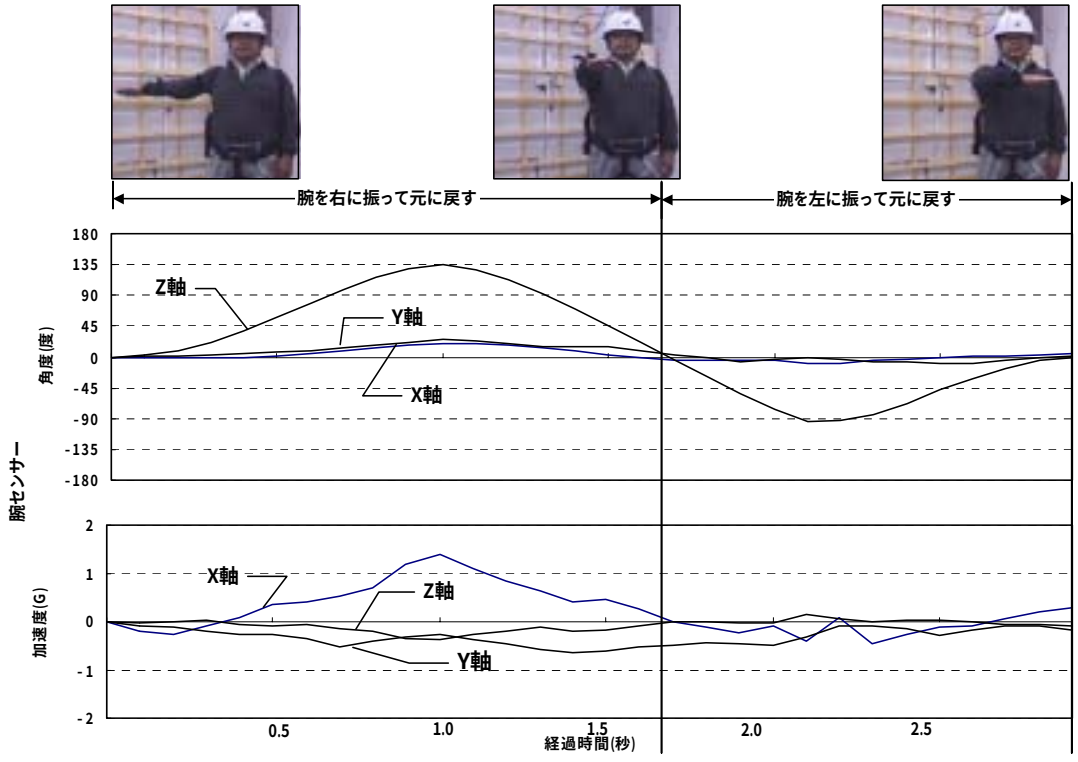



図.4.1.4　腕のセンサーの出力事例(腕を横に平行に振る)

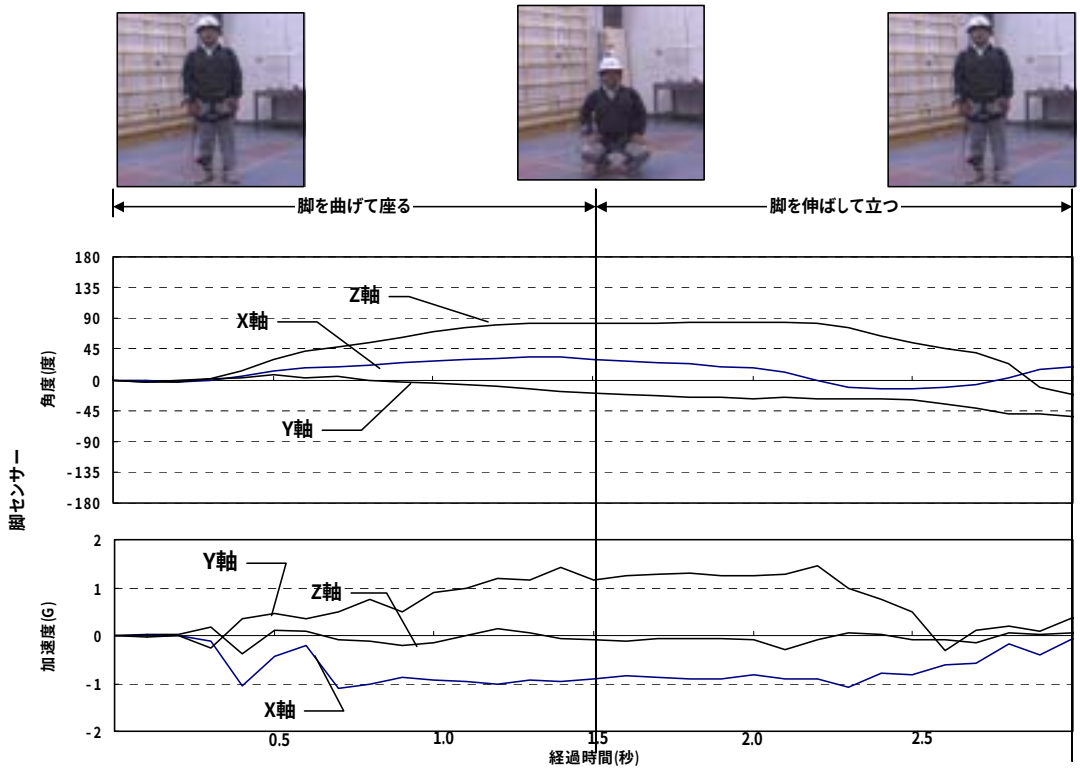



図.4.1.5　脚のセンサーの出力事例(座って立ち上がる)

### 4.1.2.姿勢の特性値の算出方法

作業者に装着したセンサーから得られる 3 軸の角度データと 3 軸の加速度データに基づき推定を行うための特性値を算出した。本研究では、作業内容の推定を行う最小単位の時間幅を 1 秒とし、最小単位を 1 秒づつ増やした長さの時間幅を対象に推定を行う。この推定を行う時間幅を推定区間と呼ぶ。

収集したセンサーの角度データは、作業者の移動など身体の回転が発生すると、同じ姿勢の作業であっても回転による変化量を含んだ結果を出力する。このため、測定したデータのままでは、同じ作業の種類であっても異なる角度データを持ち、正しく作業を推定することは出来ない。そこで、測定データから算出した作業者の身体部位間の相対的関係を推定に用いる特性値とし、回転による影響を排除する方法を提案する。

即ち、2 個のセンサーの相対的な位置関係を示す 3 次元位置ベクトル座標の距離を用いて特性値を算出する。推定区間における 3 次元位置ベクトル座標の距離の平均値、標準偏差、各測定時点のデータの変化量（時点 $i$ と時点 $i+1$）の 2 乗の合計を求め、センサーの装着している身体部位の姿勢を表す特性値とした。

また、収集したセンサーの加速度データは、重力の方向に発生する重力加速度と移動の方向に発生する運動加速度の合計値を出力する。このため、身体部位の移動を表す運動加

速度成分のデータのみを推定に用いることとし、推定区間における各測定時点のデータの変化量（時点 $i$ と時点 $i+1$）の 2 乗の合計を求め、センサーを装着している身体部位の動きの速さを表す特性値とした。

ここで、センサーA とセンサーB の出力データについて、特性値を求める算出過程を図.4.1.6 及び(式.4.1.1)から(式.4.1.7)に示す。角度データは先ず(式.4.1.１)を用いて、3 次元位置ベクトル座標に変換する。次に変換したセンサーAとセンサーBの 3 次元位置ベクトル座標の距離を算出する。そして、推定区間における 3 次元位置ベクトル座標の距離の平均値、標準偏差、変化量の 2 乗の合計を特性値として用いる。次に、1 つのセンサーにおける加速度データは、推定区間における 3 軸の加速度の変化量の 2 乗の合計を特性値として用いる。

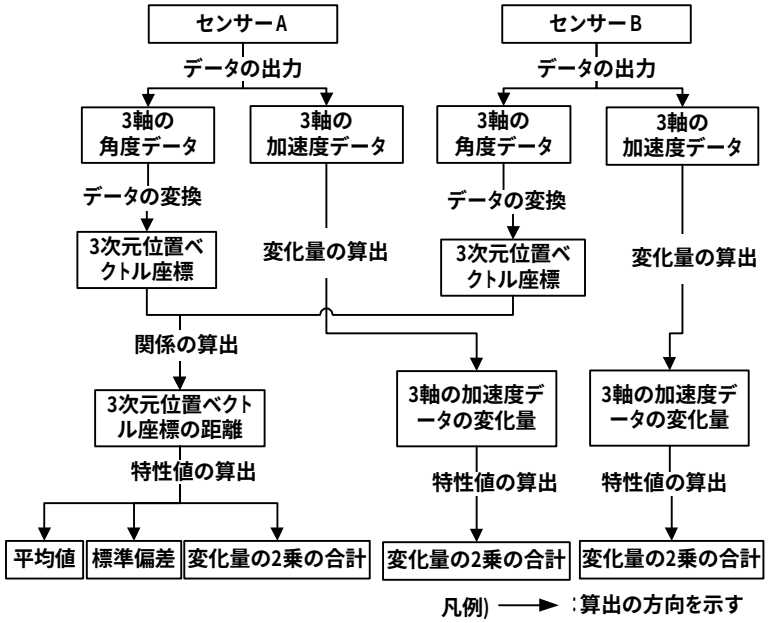



図.4.1.6　特性値の算出過程

以下の項目に推定区間における 3 軸の角度データと 3 軸の加速度データを用いた特性値の算出式を示す。

① 3 軸の角度データの 3 次元位置ベクトル座標への変換

データの出力時点 $i$ におけるセンサーAの X 軸の角度データを $\theta_{(A)x_i}$、Y 軸の角度データを $\theta_{(A)y_i}$、Z 軸の角度データを $\theta_{(A)z_i}$ にした場合、基本ベクトル座標(1，1，1)を各軸の角度データによって回転させた後の座標を、図.4.1.7 に示す如く、終点の座標（$x_{(A)i}$，$y_{(A)i}$，$z_{(A)i}$）を持つ 3 次元位置ベクトル座標とする。3 軸の角度データを用いた 3 次元位置ベクトル座標の計算式は式.4.1.1 に示す。式に示す如く、基本ベクトルを出力時点 $i$ における

センサーA の X 軸の角度によって回転させ、再びその基本ベクトルを Y 軸の回転角度によって回転させ、最後に Z 軸の回転角度に回転させた基本ベクトルから 3 次元位置ベクトルの座標 $R_{(A)I}$ を算出する。

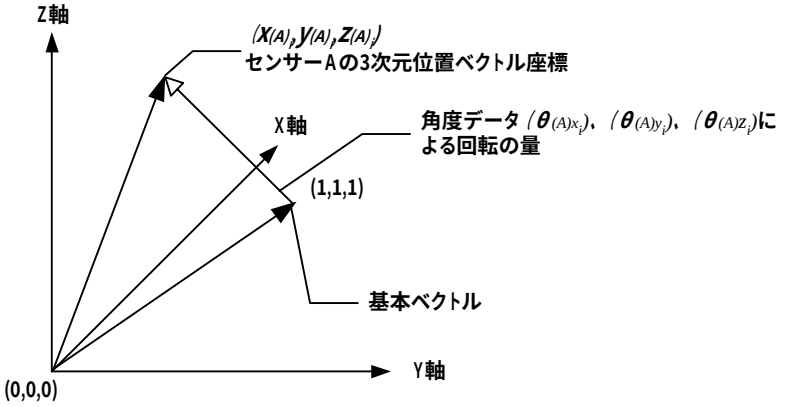



図.4.1.7　3 次元ベクトル座標への変換の概念

$$R_{(A)_i} = (x_{(A)_i}, y_{(A)_i}, z_{(A)_i})$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & COS(\theta_{(A)x_i}) & -SIN(\theta_{(A)x_i}) \\ 0 & SIN(\theta_{(A)x_i}) & COS(\theta_{(A)x_i}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} COS(\theta_{(A)y_i}) & 0 & SIN(\theta_{(A)y_i}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -SIN(\theta_{(A)y_i}) & 0 & COS(\theta_{(A)y_i}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} COS(\theta_{(A)z_i}) & SIN(\theta_{(A)z_i}) & 0 \\ -SIN(\theta_{(A)z_i}) & COS(\theta_{(A)z_i}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

・・・ (式.4.1.1）

$R_{(A)_i}$: 出力時点 $i$におけるセンサー　$A$の3次元位置ベクトル座標

$\theta_{(A)x_i}$: 出力時点 $i$におけるセンサー　$A$の$x$軸の角度データ

$\theta_{(A)y_i}$: 出力時点 $i$におけるセンサー　$A$の$y$軸の角度データ

$\theta_{(A)z_i}$: 出力時点 $i$におけるセンサー　Aのz軸の角度データ

$A$：データを出力するセ　ンサー

$i$：データの出力時点

② 3 次元位置ベクトル座標の距離の算出

3 軸の角度データを用いて算出した出力時点 $i$ におけるセンサーAとセンサーBの 3 次元位置ベクトルの座標（$x_{(A)i}$ ， $y_{(A)i}$ ， $z_{(A)i}$）と（$x_{(B)i}$ ， $y_{(B)i}$ ， $z_{(B)i}$）の関係は図.4.1.8 に示す如く、各座標間の距離を求めて用いる。図に示す如く、2 個のセンサーの関係は 2 つの 3 次元位置ベクトルの座標からなる最小値 0 から最大値 $2\sqrt{3}$ までの実数値を用いて表す。3 次元位置ベクトル座標の距離の算出式は式.4.1.2 に示す。式に示す如く、座標における X 軸、Y 軸、Z 軸の差の 2 乗の合計の平方根から距離 $H_{(A-B)i}$ を算出する。

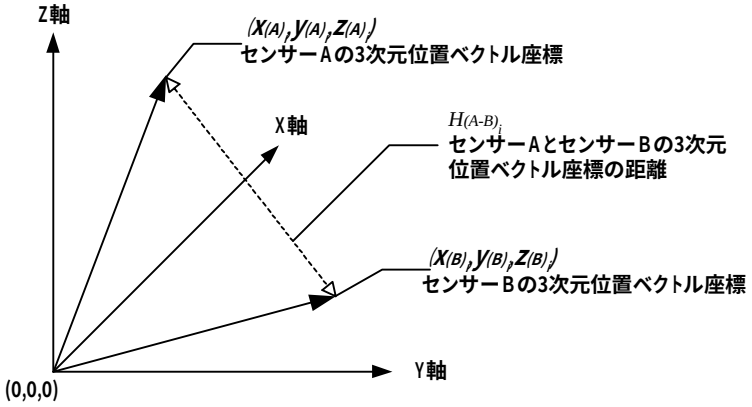



図.4.1.8　3 次元位置ベクトル座標の距離の概念

$$H_{(A-B)_i} = \sqrt{\left(x_{(B)_i} - x_{(A)_i}\right)^2 + \left(y_{(B)_i} - y_{(A)_i}\right)^2 + \left(z_{(B)_i} - z_{(A)_i}\right)^2} \quad \cdots\text{(式.4.1.2)}$$

$H_{(A-B)_i}$

：出力時点 $i$におけるセンサーAと センサーBの 3次元位置ベクトル座標 の距離

$\left(x_{(A)_i}, y_{(A)_i}, z_{(A)_i}\right)$　：出力時点 $i$におけるセンサーAの 3次元位置ベクトル座標

$\left(x_{(B)_i}, y_{(B)_i}, z_{(B)_i}\right)$　：出力時点 $i$におけるセンサーBの 3次元位置ベクトル座標

$A, B$：データを出力するセ ンサー

$i$：データの出力時点

③3 軸の加速度データの変化量の算出

センサーAの出力時点$(i+1)$における加速度データ（$\alpha_{(A)x_{i+1}}$，$\alpha_{(A)y_{i+1}}$，$\alpha_{(A)z_{i+1}}$）から$(i)$における（$\alpha_{(A)x_i}$，$\alpha_{(A)y_i}$，$\alpha_{(A)z_i}$）変化量である。3 軸の加速度データの変化量の算出式を式.4.1.3 に示す。式に示す如く、加速度データの X 軸、Y 軸、Z 軸の差の 2 乗の合計の平方根から変化量 $T_{(A)_i}$ を算出する。

$$T_{(A)_i} = \sqrt{\left(\alpha_{(A)x_{i+1}} - \alpha_{(A)x_i}\right)^2 + \left(\alpha_{(A)y_{i+1}} - \alpha_{(A)y_i}\right)^2 + \left(\alpha_{(A)z_{i+1}} - \alpha_{(A)z_i}\right)^2} \quad \cdots\text{(式.4.1.3)}$$

$T_{(A)_i}$：出力時点 $i$から $i+1$におけるセンサーAの　加速度の変化量

$\alpha_{(A)x_i}$：出力時点 $i$におけるセンサー　$A$の$x$軸の加速度データ

$\alpha_{(A)y_i}$：出力時点 $i$におけるセンサー　$A$の$y$軸の加速度データ

$\alpha_{(A)z_i}$：出力時点 $i$におけるセンサー　$A$の$z$軸の加速度データ

$A$：データを出力するセ　ンサー

$i$：データの出力時点

④特性値の算出

特性値は 3 軸の角度データからの 3 次元位置ベクトル座標の距離及び、3 軸の加速度データからの変化量を用いて算出を行う。推定に用いる 4 種類の特性値の算出式を表.4.1.2 に示す。表に示す如く、推定区間のデータの数が $n$ 個であるセンサーA とセンサーB の 3 次元位置ベクトル座標の距離 $H_{(A-B)_i}$ の平均 $Avr(H_{(A-B)_i})$を式.4.1.4 に示す。出力したデータの数が $n$ 個であるセンサーA とセンサーB の 3 次元位置ベクトル座標の距離 $H_{(A-B)_i}$ の標準偏差 $Std(H_{(A-B)_i})$を式.4.1.5 に示す。出力したデータの数が $n$ 個であるセンサーA とセンサーB の出力時点 $i$ における 3 次元位置ベクトル座標の距離 $H_{(A-B)_i}$ の出力時点 $i+1$ までの変化量の 2 乗の $n$ 個における合計 $Sy(H_{(A-B)_{i+1}}-H_{(A-B)_i})$を式.4.1.6 に示す。また、出力したデータの数が $n$ 個であるセンサーA の加速度データの変化量 $T_{(A)_i}$ の 2 乗の $n$ 個における合計 $Sy(T_{(A)_i})$を式.4.1.7 に示す。

表.4.1.2　単位動作の推定に用いる特性値と算出式

| 特性値 | 算出式 | 内容 |
|---|---|---|
| $Avr(H_{(A-B)_i})$ | $\dfrac{\sum_{i=1}^{i=n} H_{(A-B)_i}}{n}$　・・・（式.4.1.4） | センサーA・Bの位置関係 |
| $Std(H_{(A-B)_i})$ | $\sqrt{\dfrac{n\sum_{i=1}^{i=n}\left(H_{(A-B)_i}\right)^2-\left(\sum_{i=1}^{i=n} H_{(A-B)_i}\right)^2}{n^2}}$　・・・（式.4.1.5） | センサーA・Bの位置関係の標準偏差 |
| $Sy(H_{(A-B)_{i+1}}-H_{(A-B)_i})$ | $\sum_{i=1}^{i=n}\left(H_{(A-B)_{i+1}}-H_{(A-B)_i}\right)^2$　・・・（式.4.1.6） | センサーA・Bの位置関係の変化量 |
| $Sy(T_{(A)_i})$ | $\sum_{i=1}^{i=n}\left(T_{(A)_i}\right)^2$　・・・（式.4.1.7） | センサーAの動きの速さ |

$Avr(H_{(A-B)_i})$　：$H_{(A-B)_i}$の平均
$Std(H_{(A-B)_i})$　：$H_{(A-B)_i}$の標準偏差、
$Sy(H_{(A-B)_i})$　：$(H_{(A-B)_{i+1}}-H_{(A-B)_i})$の2乗の合計
$Sy(T_{(A)_i})$　：$T_{(A)_i}$の2乗の合計
$H_{(A-B)_i}$　：出力時点$i$におけるセンサーAとセンサーBの3次元位置ベクトル座標の距離
$T_{(A)_i}$　：出力時点$i$から$i+1$までにおけるセンサーAの加速度の変化量
$n$　：センサAとセンサーBから出力したデータの数
$i$　：データの出力時点
$A, B$：データを出力するセンサー

### 4.1.3.基本的な作業者の姿勢における適用

移動における「歩き」、運搬における「手に持って歩く」、加工における「手鋸を用いた切断」、取付けにおける「ハンマを用いた釘打ち」の要素作業に対する作業実験を行い、作業者の姿勢における提案した 6 自由度データの収集方法の適用性を検討し、特性値の算出方法の有効性を検証した。実験は表.4.1.3 に示す如く、早稲田大学のヒューマン実験室で行った。作業を行った作業者は表.4.1.4 に示す如く、合板加工を職とする作業者と大工を職とする作業者の 2 人であった。

実験の対象とした各要素作業の作業条件を表.4.1.5 に示す。表に示す如く、移動は平坦な床の上を 3m歩く作業である。運搬は平坦な床の上を 1 本の木材を両手で持ち、運ぶ作業である。加工は片刃丸鋸を用いて木材を切断する作業である。取付けは手ハンマを用いて釘を合板に打つ作業である。

表.4.1.3　実験場の状況

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 実験場所 | 早稲田大学ヒューマン実験室 |
| 実験日 | 2001 年 8 月 27 日から 28 日まで 2 日間 |
| 天気 | 晴れ |
| 実験室平均気温 | 約 22℃ |

表.4.1.4　作業者の概要

| 項目 | 作業者 A | 作業者 B |
|---|---|---|
| 職種 | 合板加工 | 大工 |
| 経歴 | 13 年 | 30 年 |
| 年齢 | 49 才 | 58 才 |
| 身長 | 154cm | 162cm |
| 両手巾 | 152.5cm | 167cm |
| 股下長 | 80cm | 90cm |
| 体重 | 66kg | 65kg |

表.4.1.5　実験の作業条件

| 行為 | 詳細 |
|---|---|
| 移動 | 移動距離：3m<br>移動場所：平坦な床の上 |
| 運搬 | 運搬距離：3m<br>運搬場所：平坦な床の上<br>運搬対象：寸法 30(厚み)×45(巾)×2000(長さ)mm の 1 本の木材 |
| 加工 | 加工対象：寸法 30(厚み)×45(巾)mm の 1 本の木材<br>加工道具：270mm(長さ)の片刃手鋸 |
| 取付け | 釘：45(長さ)mm 鉄製<br>取付け道具：手ハンマ<br>打ち付け対象：床から 200mm 高さの合板 |

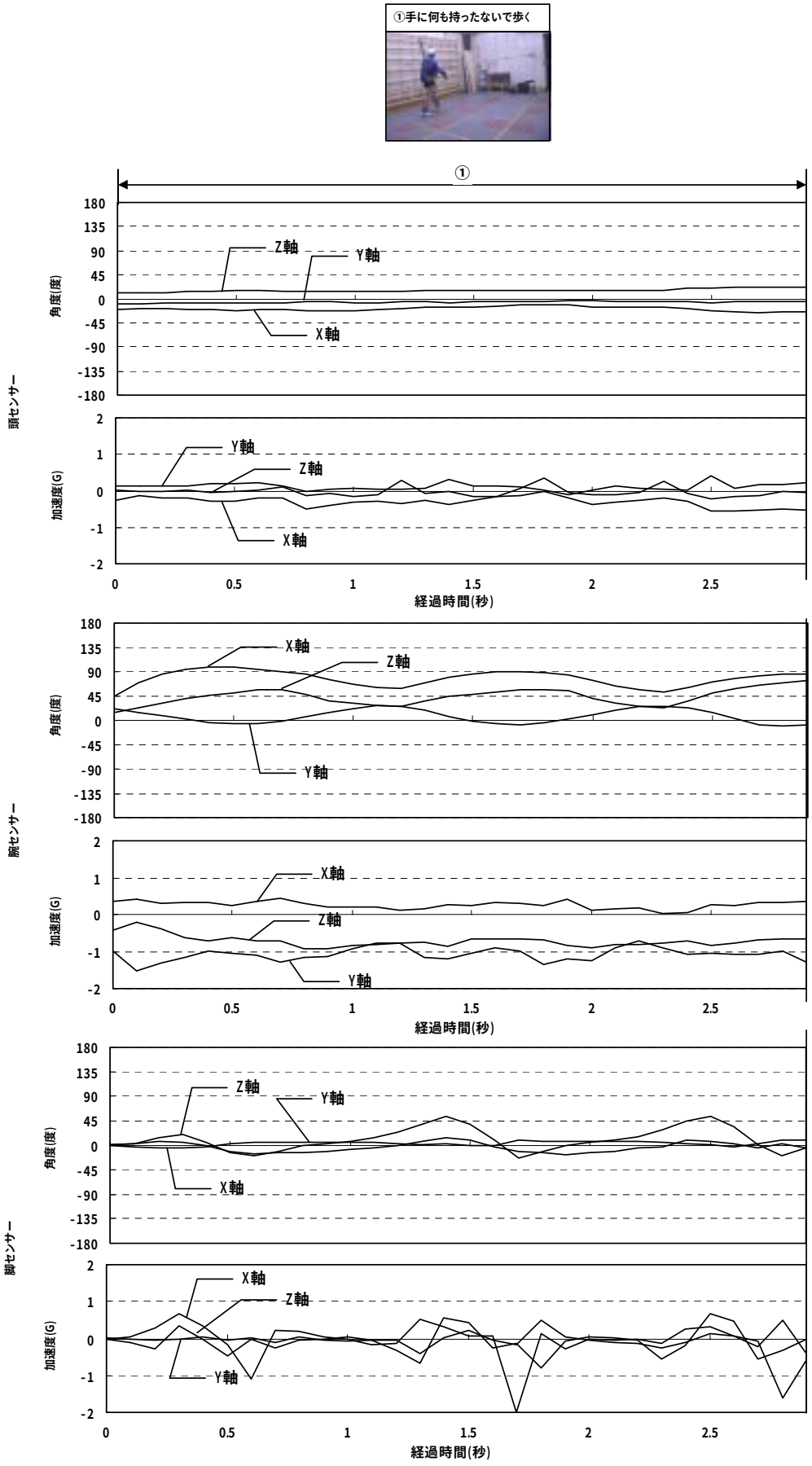



図.4.1.9　移動のセンサーデータ例と作業写真

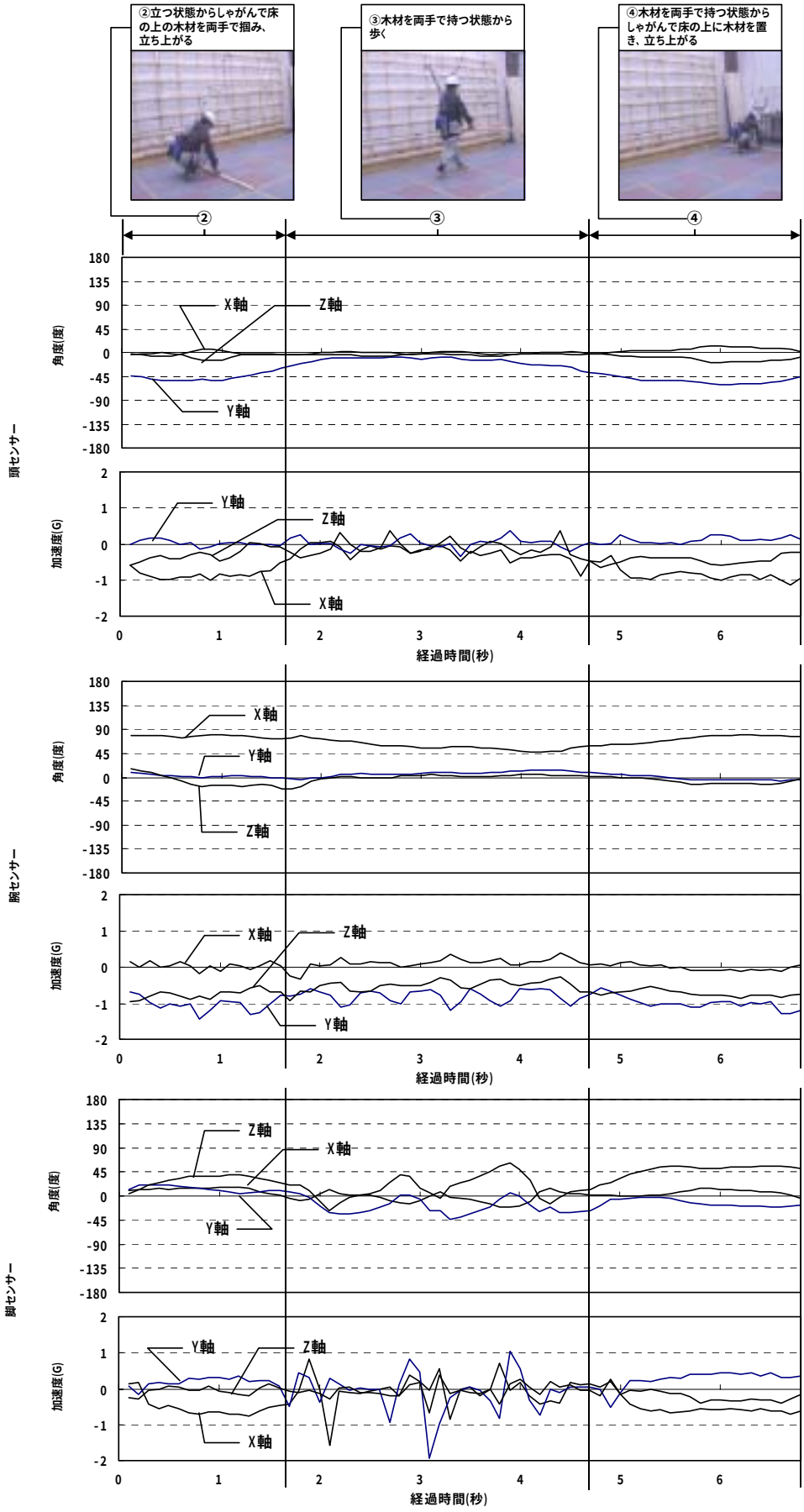



図.4.1.10　運搬のセンサーデータ例と作業写真

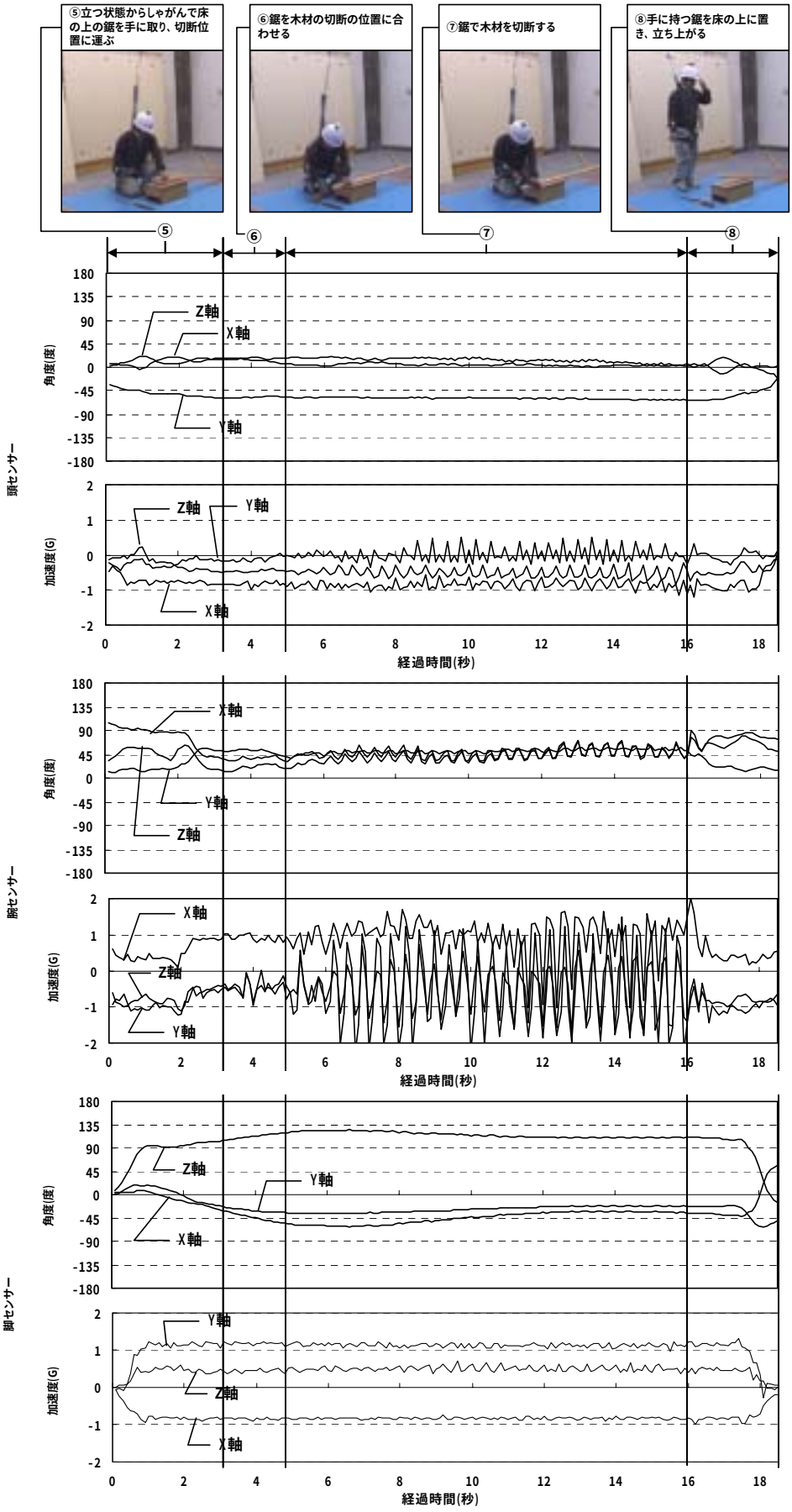



図.4.1.11　加工のセンサーデータ例と作業写真

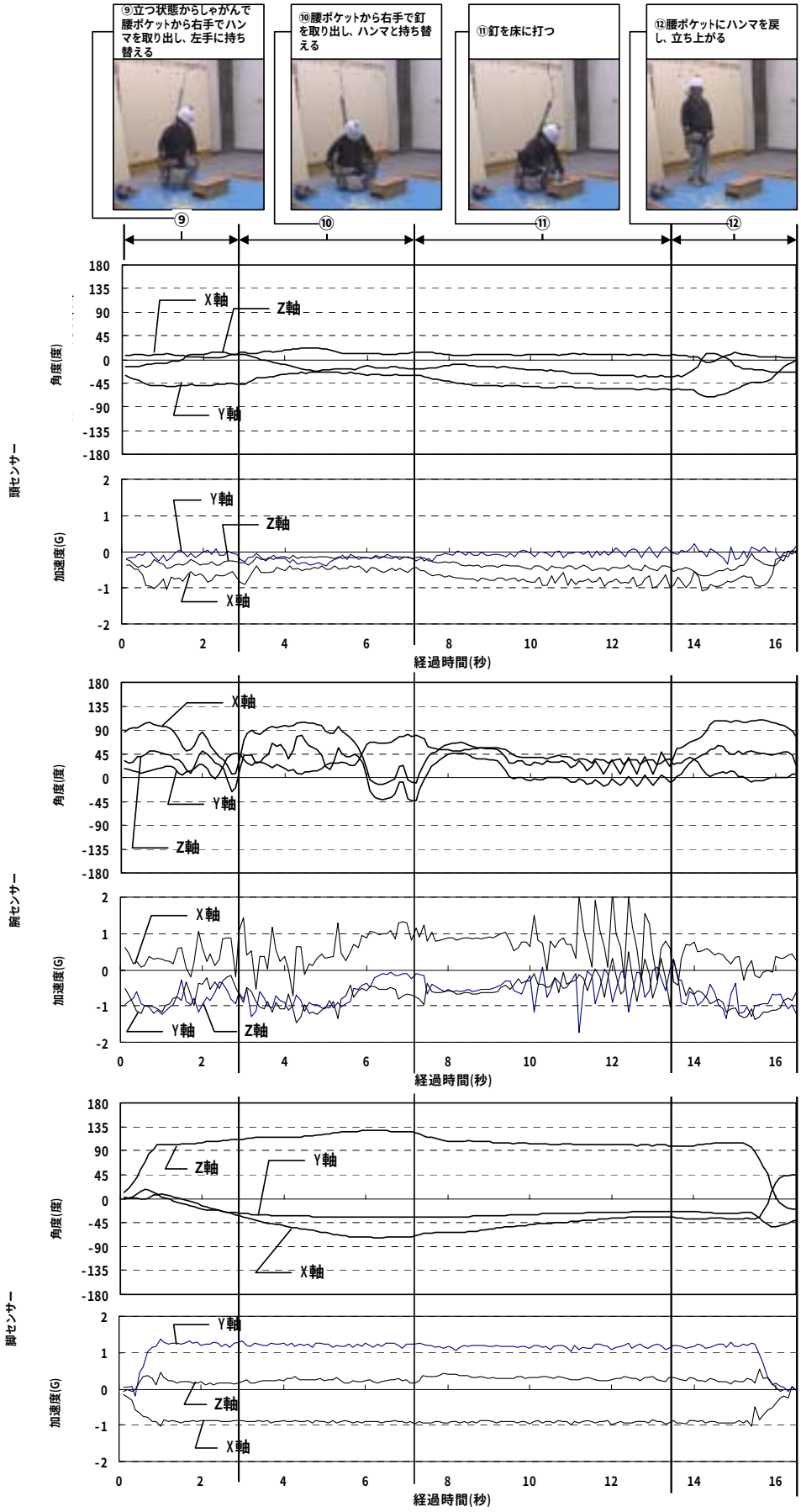



図.4.1.12　取付けのセンサーデータ例と作業写真

**①6 自由度データの収集結果**

データの収集はセンサー装置を装着した作業者 2 人に対して単位作業ごとに行った。データの信頼性を確認するため 10 回ずつ繰り返し行った。また、作業状況のビデオ撮影を行い、映像を用いてデータと作業者の姿勢の関係を確認した。

図.4.1.9 には移動のセンサーデータ例と作業写真を示す。図.4.1.10 には運搬のセンサーデータ例と作業写真を示す。図.4.1.11 には加工のセンサーデータ例と作業写真を示す。図.4.1.12 には取付けのセンサーデータ例と作業写真を示す。各図に示す如く、頭、腕、脚センサーにおける X 軸、Y 軸、Z 軸に対する角度と加速度データが、作業内容に特有の波形を示していることがわかる。

以上結果から、作業者の姿勢に対する 6 自由度データの測定に本装置は有効であると考えられる。

**②特性値の算出結果**

センサーデータの特性値は推定区間の時間幅を 1 秒、2 秒、3 秒に設定して算出した。センサーの出力データから推定区間の特性値の算出過程を図.4.1.13 に示す。図に示す如く、各センサーから出力される 0.1 秒間隔の角度と加速度データを推定区間の時間幅に纏める。角度データはセンサー毎に 3 次元位置ベクトル座標に変換する。変換した 3 次元位置ベクトル座標を用いて同じ出力時間の頭と腕、頭と脚、腕と脚のセンサー間における 3 次元位置ベクトル座標の距離を算出する。算出した各センサー間の 3 次元位置ベクトル座標の距離は推定区間毎に平均値､標準偏差､変化量の 2 乗の合計を算出して特性値として用いる。加速度データはセンサー毎に X 軸、Y 軸、Z 軸の 0.1 秒間隔の出力データの変化量の 2 乗を推定区間毎に合計をして特性値として用いる。

加工の角度データを用いて算出したセンサー間の 3 次元位置ベクトル座標の距離を図.4.1.14 に示す。図に示す如く、波形は単位作業に必要な姿勢に対する測定した時間における頭のセンサーと腕のセンサー、頭のセンサーと脚のセンサー、腕のセンサーと脚のセンサーの位置関係である。「しゃがむ」「立つ」「運ぶ」などの動作を含む単位動作(⑤、⑧)の波形は大きな変化を表し、「合わせる」の動作を含む単位動作(⑥)の波形は小さい変化を表し、「引く」動作が連続して含まれる単位動作(⑦)の波形は繰り返す小さい変化を表す。

加工の加速度データを用いて算出した各センサーの変化量を図.4.1.15 に示す。図に示す如く、波形は測定した時間における単位作業の姿勢を維持するための身体部位の移動の速さを示す。手に持った鋸を引いて木材を切断する動きを続ける単位動作(⑦)における腕のセンサーの波形は頭と脚のセンサーに比較して移動が速いことを表す。「しゃがむ」「立つ」「運ぶ」「合わせる」の動作を含む単位動作の波形は各センサー共に同じ程度の移動の

速さを表す。

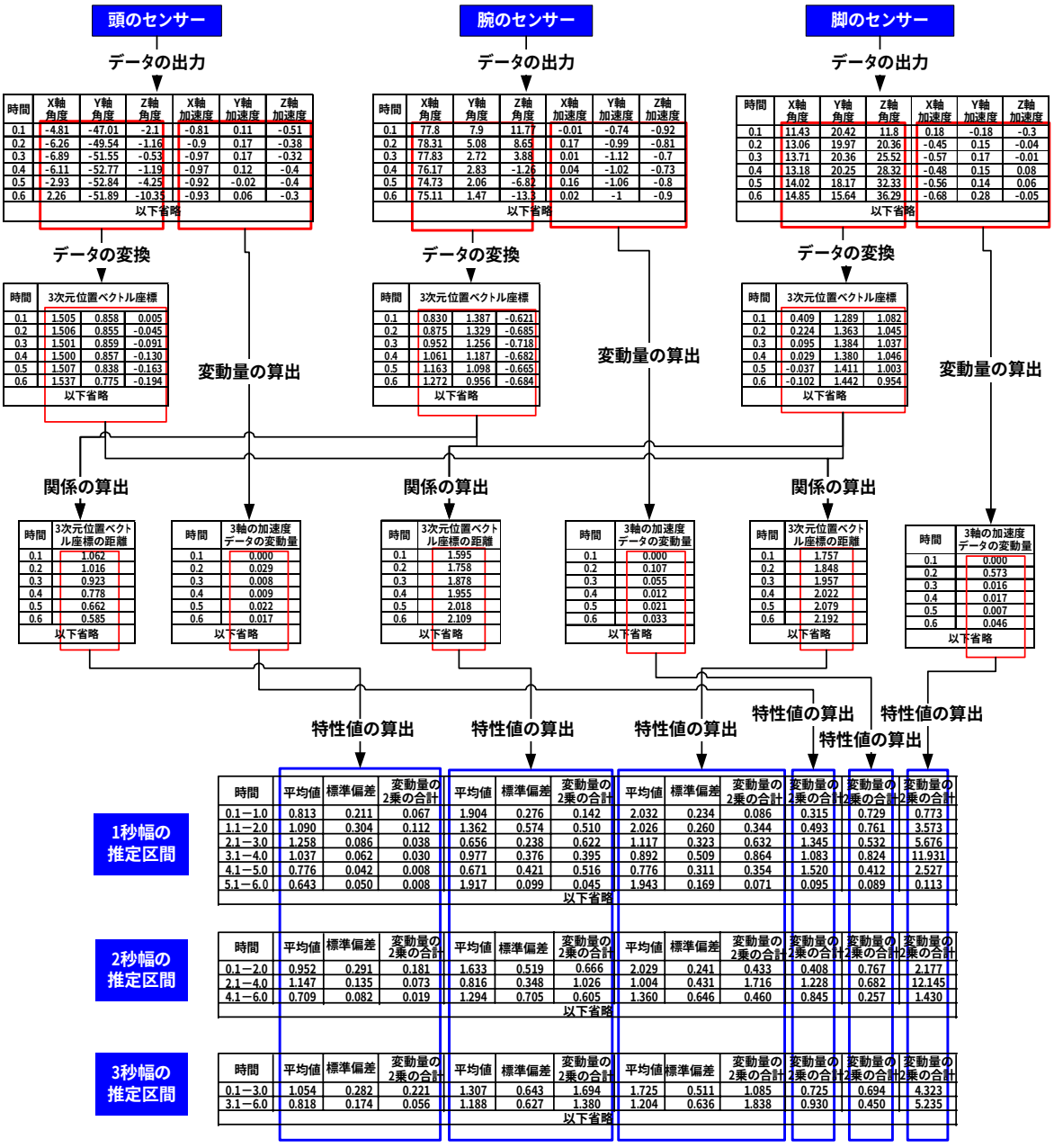



図.4.1.13　推定区間の特性値の算出過程

加工における各センサーの角度データから算出した 3 次元ベクトル座標の距離を用いて、推定区間として設定した 1 秒間隔、2 秒間隔、3 秒間隔の時間幅における平均値、標準偏差、変化量の 2 乗の合計を算出した。その結果は図.4.1.16 に示す如く、推定区間の 2 つのセンサー間における動きの差の大きさを示す平均は、頭と脚センサーの関係及び、頭と腕センサーの関係は概ね同じ傾向を示すが、腕と脚センサーの関係は座っている姿勢になると低い平均値を示した。標準偏差は「しゃがむ」と「立ち上がる」の姿勢を含む推定区間

が高い値を示した。変化量の 2 乗の合計は「しゃがむ」「立ち上がる」「鋸を引く」の姿勢を含む推定区間が高い値を示した。

加工における各センサーの加速度データから算出した 3 軸の加速度の変化量を用いて、推定区間として設定した 1 秒間隔、2 秒間隔、3 秒間隔の時間幅における変化量の 2 乗の合計を算出した。その結果は図.4.1.17 に示す如く、鋸を引くため比較的に速い移動を行う腕のセンサーは大きい値を示した。また、推定区間の時間幅が長くなるに連れて波形の変動は安定する傾向を示した。

以上の検討の結果から、作業者の姿勢の 6 自由度データから算出した特性値は単位作業の特徴を表し、推定に有効であると考えられる。また、推定区間の時間幅と特性値の関係は、時間幅が短い場合は出力データの数が少なくなるため特性値の安定性を欠き、時間幅が長い場合は複数の単位作業の出力データが混在するため特性値の正確性を欠く傾向があることが判った。

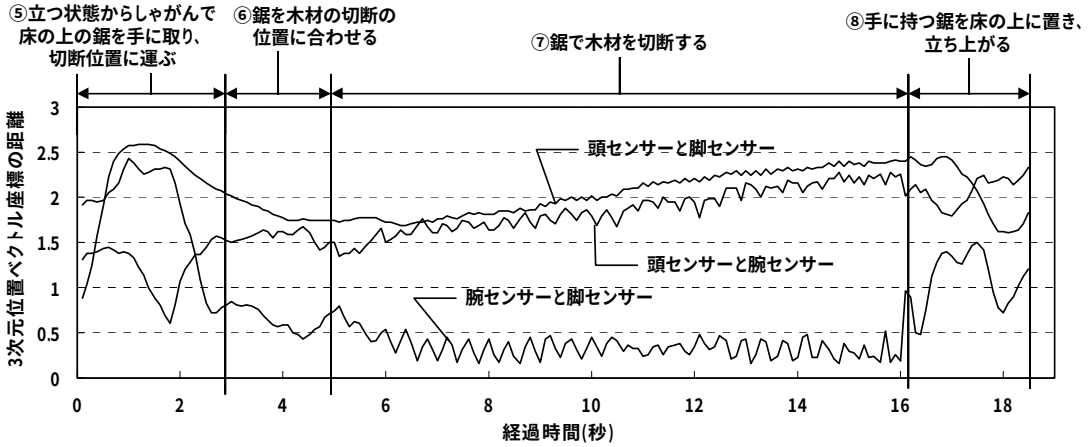



図.4.1.14　3 次元位置ベクトル座標の距離（加工の事例）

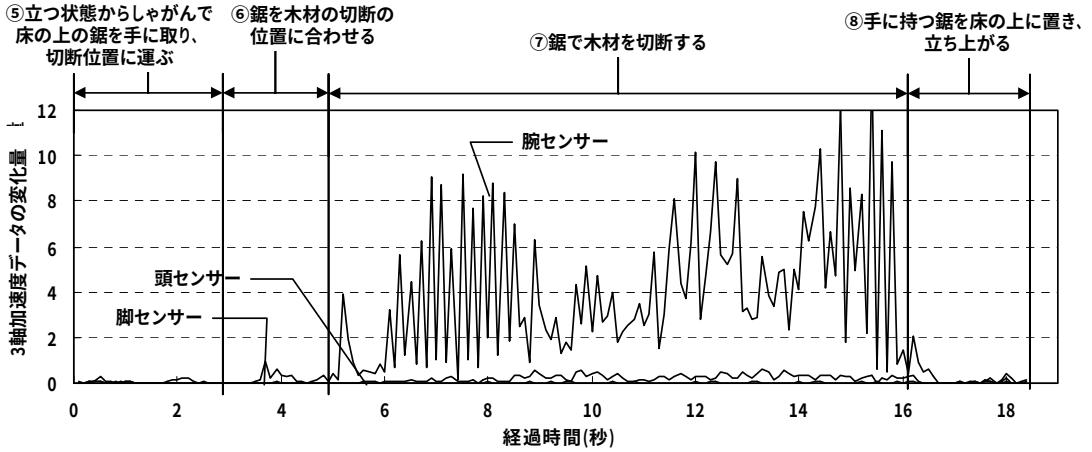



図.4.1.15　3 軸の加速度データの変化量(加工の事例)

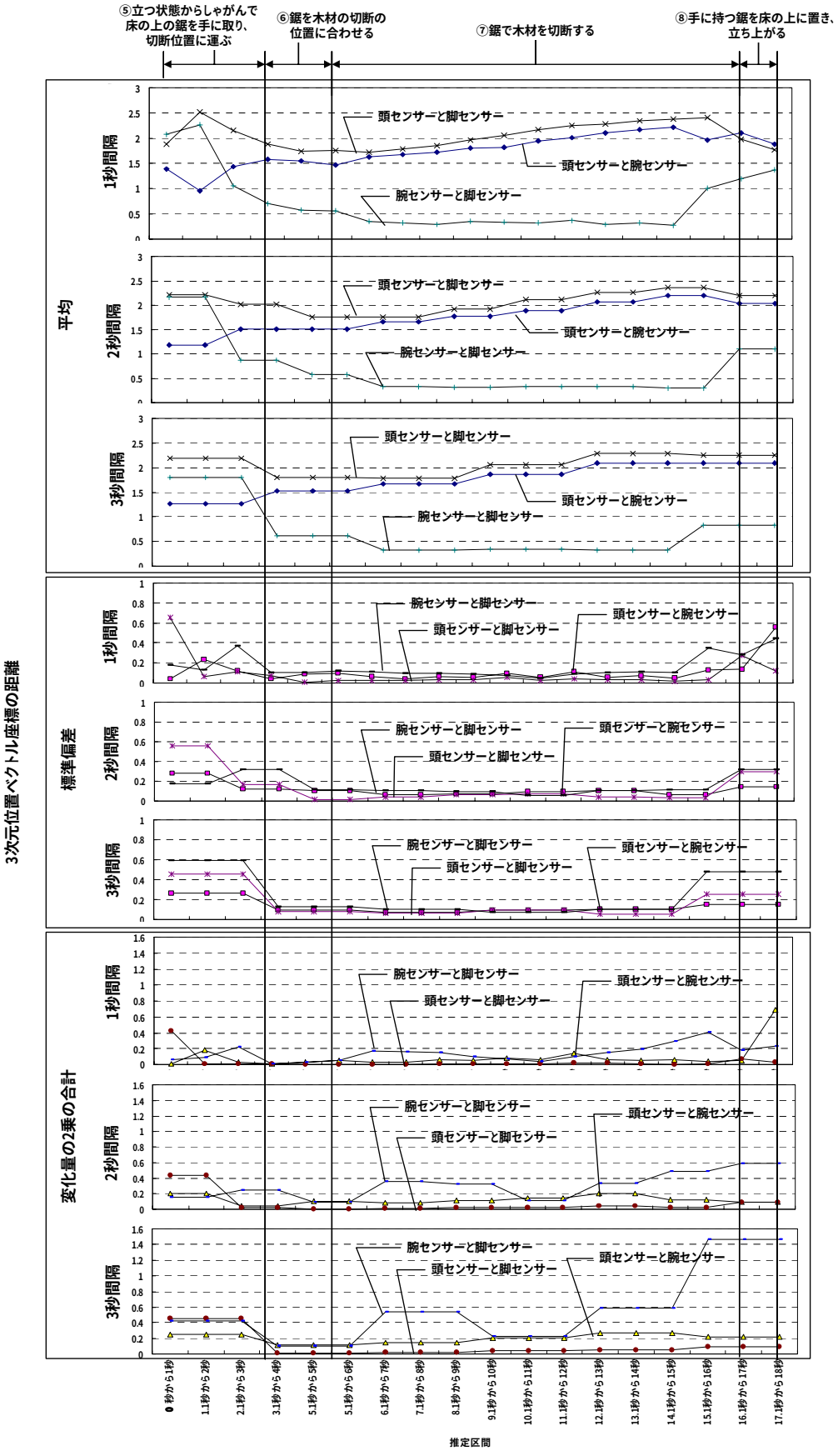



図.4.1.16　角度データにおける各推定区間の特性値(加工の事例)

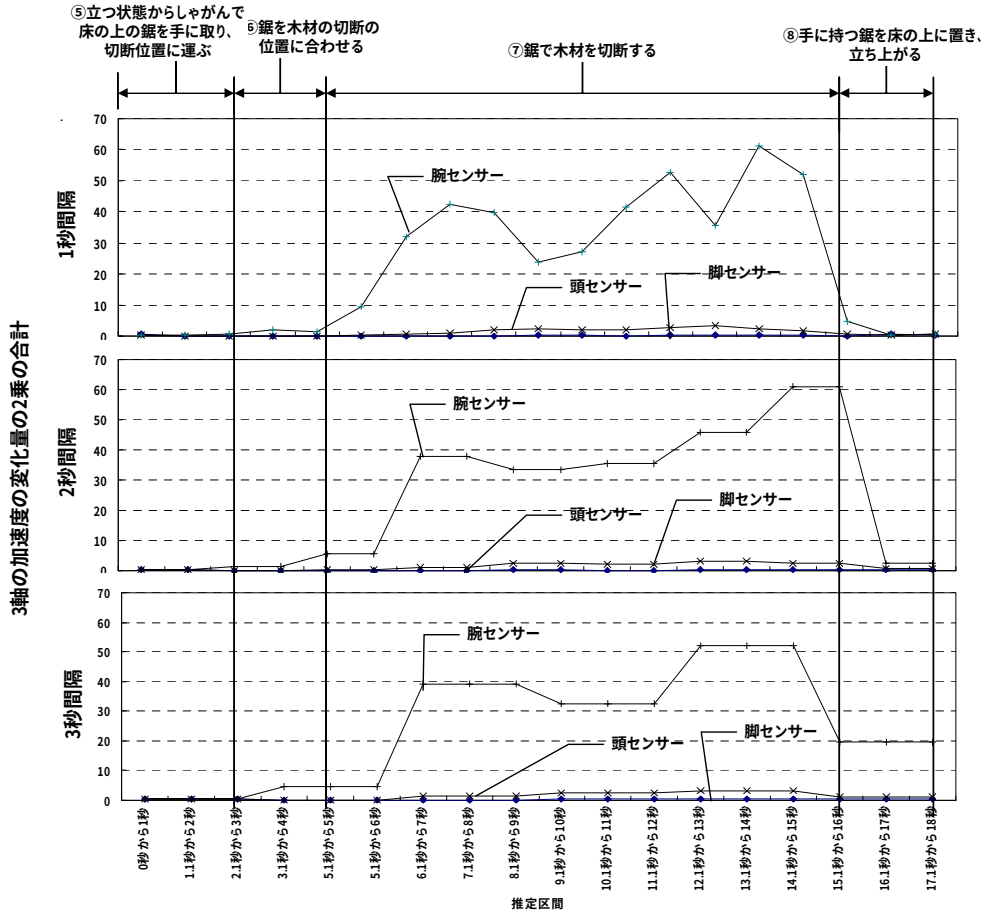



図.4.1.17　加速度データにおける各推定区間の特性値(加工の事例)

### 4.1.4.結

作業内容を推定する方法として、作業者の姿勢を自動収集し、如何なる作業内容を実施しているかを推定することを提案した。その具体的な内容として、先ず、姿勢を測定してデータ化するための 6 自由度センサーを選択し、その特性について述べ、センサー軸の出力データの特性について説明した。(図.4.1.1 参照)センサーを作業者に取付けるための考慮すべき点を示し、それに従って作業者の「頭」「右の腕」「右の脚」の 3 箇所にセンサーを取付ける方法を提案した。(図.4.1.2 参照)各センサーの時系列におけるデータの出力事例を示し、センサーを取付けた身体の部位の動きと出力データの関係の特性を確認した。(図.4.1.3～図.4.1.5 参照)

センサーから得る身体の 3 箇所の「3 軸の角度データ」と「3 軸の加速度データ」の 6 自由度データを作業内容の推定に用いるためには、特性値の算出が必要であることを示した。その特性値として 12 個の値を提案した。6 自由度データを用いた特性値の算出過程を示し、(図。4.1.6 参照)算出式を示した。(表.4.1.2 参照)以下の項目に 2 つのセンサーにおける特性値の内容を示す

① 3 次元位置ベクトル座標の距離の平均：一定の時間幅における 2 箇所の身体部位の位置関係を示す

② 3 次元位置ベクトル座標の距離の標準偏差：一定の時間幅における 2 箇所の身体部位の位置関係の変動を示す

③ 3 次元位置ベクトル座標の距離の変化量の 2 乗の合計：一定の時間幅における 2 箇所の身体部位の位置関係の動きの速さを示す

④ 3 軸の加速度データの変化量の 2 乗の合計：一定の時間幅における 1 箇所の身体部位の動きの速さを示す

提案した特性値の算出方法の適用を検討するために、作業の基本的な姿勢における 6 自由度データの測定の実験を行い（表.4.1.5 参照)、測定した「移動」のデータ（図.4.1.9 参照)、「運搬」のデータ（図.4.1.10 参照)、「加工」のデータ（図.4.1.11 参照)、「取付け」のデータ（図.4.1.12 参照）の時系列の波形と単位動作の関係を確認した。その結果、データは作業者の姿勢に対する特有の波形を示していることを確認した。

「加工」のデータに基づいた特性値の算出の過程を示し（図.4.13 参照)、算出した 12 個の特性値の時系列における波形を示した。（図.4.1.17、図.4.1.18 参照）その結果、頭・腕・脚に装着した 3 つのセンサーのデータが正確に姿勢の動きを示していることを確認した。また、測定したデータの時系列における特性値の波形が単位動作によって変動することを明らかにした。

以上の検討結果、提案した作業者の姿勢の測定方法とデータの特性値は作業内容の推定において有効であることを確認した。

### 4.2.作業者の姿勢の特性値に基づいた作業内容の推定方法

#### 4.2.1.推定区間の多段階の設定方法

作業者が行う作業について、本研究では作業を単位動作に分割して推定の対象とした。単位動作は、「手を伸ばす」「腰をかがむ」「鋸を引く」「ハンマを打つ」など要素動作のまとまりを意味する。作業を単位作業の分類項目の移動、運搬、計測、加工、取付けなどに分割し、それらを構成する要素作業を達成するために必要であり、なお且つ、部材の属性や部位の位置などによって決まる要素動作を纏めて単位動作とした。

単位動作を推定するためには、対象となる単位動作の作業時間の幅に合わせて推定区間の時間幅を設定し、特性値を算出する必要がある。推定区間の時間幅は、その長さによって作業時間より大きい場合には、複数の単位動作が一つの時間幅の中に入ってしまうことになり正確な推定が難しくなる。また、時間幅の長さが作業時間より小さい場合には、平均値や標準偏差などの特性値を求めるデータ数が少なくなるため、その値が作業内のそれぞれの作業者の動きに大きく左右され安定性を欠くことになる。

本研究では推定の正確性と安定性を高めるため、推定区間の時間幅を複数に設定して推定に利用することとした。即ち、作業を分割して求められる単位動作の最小の作業時間を推定区間の最小の時間幅とし、この時間幅を整数倍した多段階による推定区間を用いることとした。そして、これらの推定区間について、それぞれの特性値を求めて推定を行った。

以上の多段階による推定区間の設定方法を概念図として示すと、図.4.2.1 の如くなる。先ず、推定区間の最小時間幅を 1 秒とし、最大時間幅を 3 秒としている。このとき、2 秒と 3 秒の時間幅においては、推定区間を 1 秒づつずらして設定することによって、開始時点の差異による推定区間と単位動作に発生する時間のずれを防いでいる。以上の多段階による推定区間の設定方法によって、6 種類の推定区間における特性値を求め、実施された単位動作を推定する。

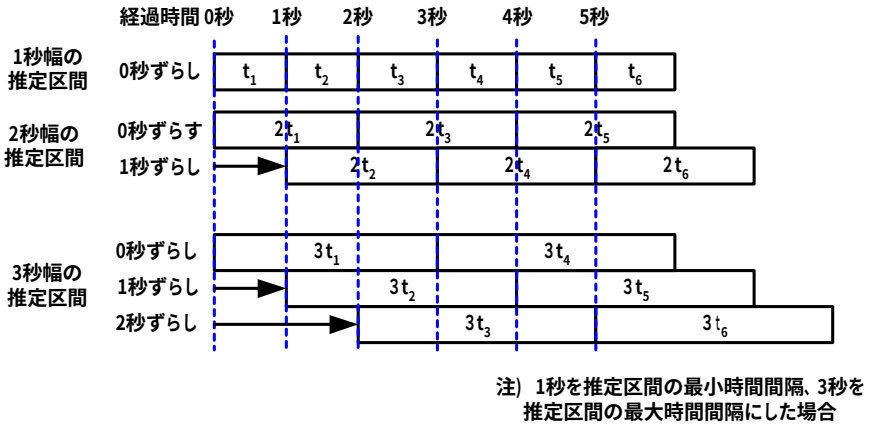


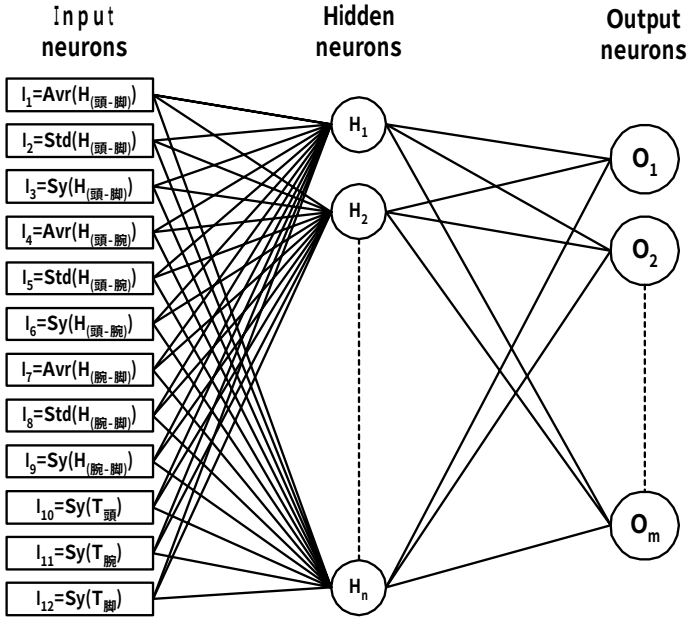

図.4.2.1　多段階による推定区間の設定方法の概要

### 4.2.2.ニューラルネットワーク手法を用いた推定方法

推定区間の特性値を用いて単位動作を推定するために、本研究ではニューラルネットワーク手法を用いた。使用したニューラルネットワークのアルゴリズムは誤差逆伝播法である。ネットワークの構造は完全結合した 3 層とし、入出力関数はシグモイド関数を用いる。ネットワークの学習は、入力値を推定区間の特性値とし、教師データを推定区間の実測した単位動作として行う。

推定に用いたニューラルネットワークの構造を図.4.2.2 に示す。図に示す如く、ネットワークの Input neurons の入力は頭、腕、脚センサーにおける 6 自由度データを用いて算出した推定区間の特性値($I_1$、$I_2$、・・・、$I_{12}$)であり、Output neurons として、実施する単位作業の有無を示す認識値($O_1$、$O_2$、・・・、$O_m$)とした。認識値とは Output neurons の各単位動作に対するネットワークの計算結果を示す 0 から 1 までの実数値であり、その結果が実施している場合は 1、ない場合は 0 を取る。

学習に必要なデータは、作業者にセンサーを装着して作業を実施させ、そのデータから求めた各推定区間の特性値を用いる。さらに、実施した作業をビデオで記録し、1 秒毎に単位動作を記録する。それによって、得られた 12 の特性値を Input neurons とし、単位動作を教師信号として推定区間毎に学習を行う。




| Layer | Neuronの数 |
|---|---|
| Input | 12＝ 頭のセンサー、腕のセンサー、脚のセンサーにおける6自由度データの特性値 |
| Hidden | $n=\frac{(\text{Input Neuron の数}+\text{Output Neuron の数})}{2}+\sqrt{\text{学習データの数}}$ |
| Output | m＝推定対象の構成動作の数 |

図.4.2.2　ニューラルネットワークの構造

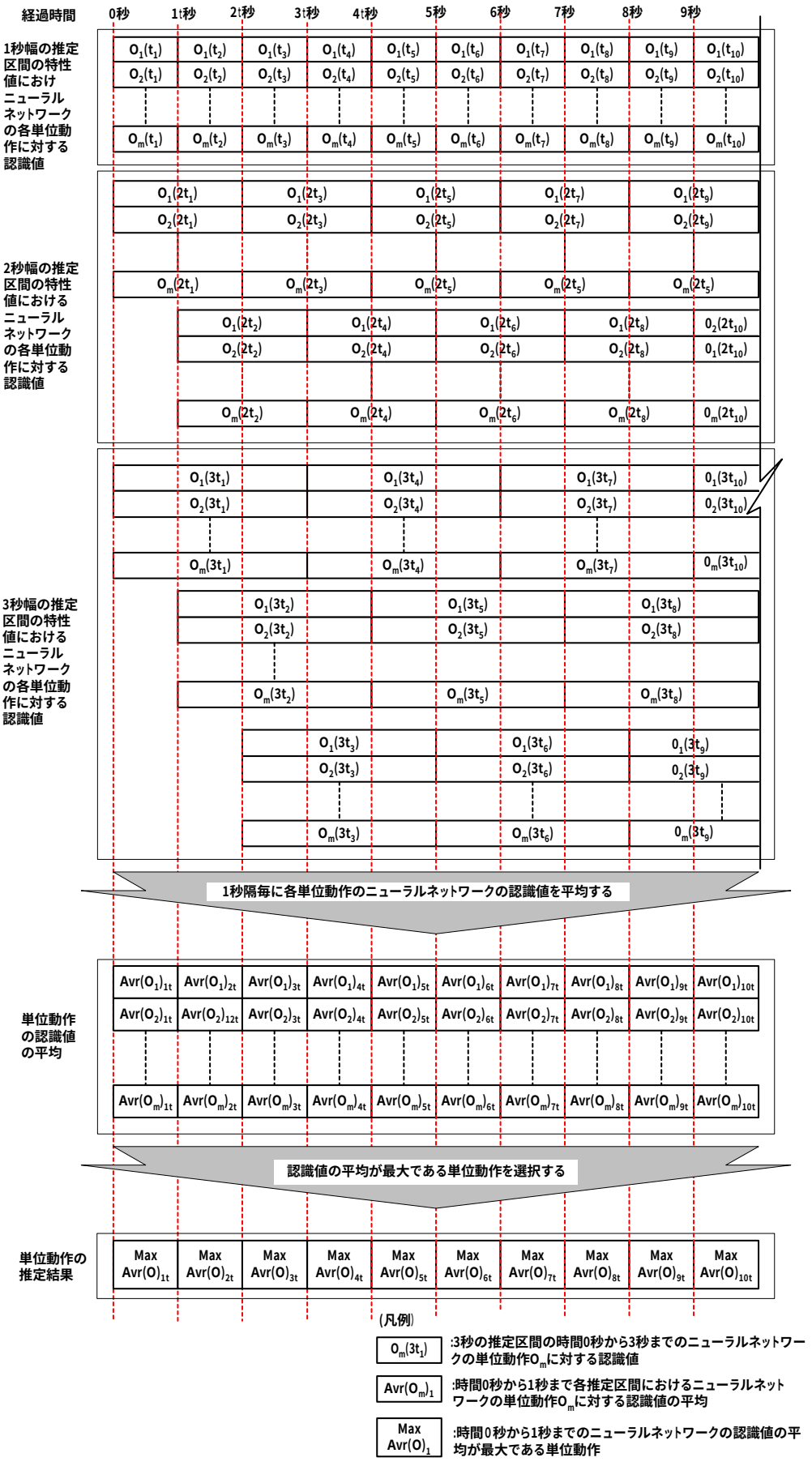



図.4.2.3　推定結果の算出過程

学習したニューラルネットワークを用いた単位動作の推定の精度を向上させるために、多段階の推定区間の推定結果を総合的に評価して選択する仕組みを提案した。即ち、推定区間毎に求められた単位動作の認識値を各時点で合計してその平均値を求め、この値を各時点における単位動作の推定結果の総合的な評価尺度とした。そして、この値が最大の単位作業を、本推定方法における推定結果とした。

推定区間を 1 秒、2 秒、3 秒間隔に設定し、推定対象作業の単位動作($O_1$～$O_m$)をｍ個に分類した場合、ニューラルネットワークによって求めた各推定区間の認識値に基づいて、各時点における単位動作を総合的に評価して選択する過程を図.4.2.3 に示す。図に示す如く、多段階における推定区間の設定方法を用いて 1 秒幅でずらして設定した各推定区間について単位動作の認識値を求める。例えば、経過時間 3 秒から 4 秒までの各推定区間の認識値は 1 秒幅が $O_1(t_4)$から $O_m(t_4)$になり、2 秒幅が $O_1(2t_3)$から $O_m(2t_3)$と $O_1(2t_4)$から $O_m(2t_4)$になり、3 秒幅が $O_1(3t_2)$から $O_m(3t_2)$と $O_1(3t_3)$から $O_m(3t_3)$と $O_1(3t_4)$から $O_m(3t_4)$になる。経過時間１秒間隔に単位動作毎の各推定区間の認識値を平均する。例えば、経過時間 3 秒から 4 秒までの単位動作の認識値の平均は $Avr(O_1)_{4t}$ から $Avr(O_m)_{4t}$ になる。最終的に各時点における認識値の平均を比較して、それが最大である単位動作をその時点における推定結果とする。例えば、経過時間 3 秒から 4 秒までの推定結果は、認識値の平均が最大である $MaxSum(O)_{4t}$ を持つ単位動作である。

提案した作業内容の推定方法の手順は図.4.2.4 に示す如く、先ず、ニューラルネットワークの学習を 6 自由度データの推定区間毎に算出した特性値と教師信号である単位動作を用いて行う。学習を行ったニューラルネットワークに推定対象の特性値を代入して、推定区間毎の認識値を求める。各時点の単位動作毎の認識値の平均を求めて、その平均が最大である単位動作を推定結果とする。

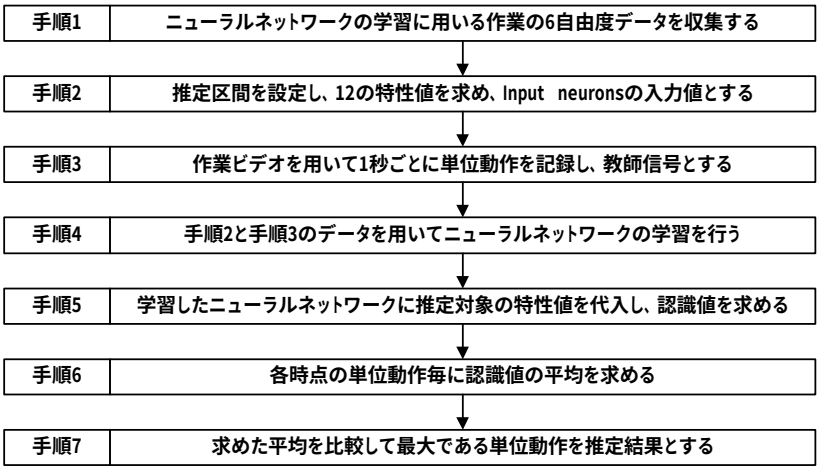



図.4.2.4　作業内容の推定方法の手順

### 4.2.3.基本的な単位動作のおける適用

#### ①データの収集と特性値の算出

推定は 4.1.3 項における実験において収集した移動、運搬、加工、取付けの 6 自由度データを用いた。推定の対象とする分割した単位動作の結果を図.4.2.5 に示す。図に示す如く、推定の対象とする単位動作は「歩く」から「ハンマを戻す」までの 12 個とした。特性値の算出は、推定区間を 1 秒から 3 秒の幅とした 6 系列で行った。

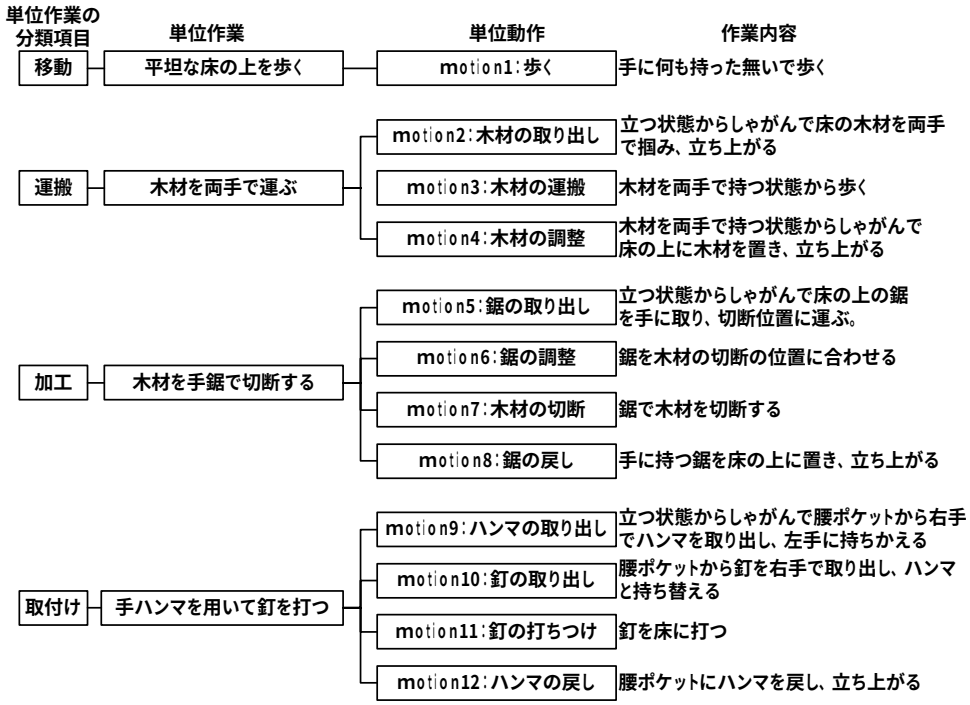



図.4.2.5　推定の対象とする分割した単位動作の結果

#### ②ニューラルネットワークの学習

実測した作業の単位動作をビデオ画像から 0.1 秒間隔に記録し、各時点の単位動作及び、6 自由度データに基づく 12 の特性値を用いて、1 秒、2 秒、3 秒幅の推定区間についてそれぞれ 1 秒づつずらせて、6 系列のニューラルネットワークで学習を行った。表.4.2.1 には学習に用いたニューラルネットワークの概要を示す。学習は作業毎に繰り返し行った 8 回分の作業者Ａと作業者Ｂのデータを用いた。

推定区間におけるニューラルネットワークの学習の結果を表.4.2.2 に示す。表に示す如く、1 秒幅の推定区間における全単位動作に対する的中率は 95.61%であり、2 秒幅の推定区間における全単位動作に対する的中率は 96.86%であり、3 秒幅の推定区間における全単位動作に対する的中率は 98.31%であった。以上の結果から各推定区間に対してニューラルネットワークの学習は有効であると考えられる。

表.4.2.1　推定に用いてニューラルネットワークの概要

| 項目 | 内容 | |
|---|---|---|
| 学習データ | 作業者Aの8回分の作業と作業者Bの8回分の作業のデータ | |
| Hidden　Neurons の数 | 1秒間隔の推定区間 | 38個 |
| | 2秒間隔の推定区間 | 37個 |
| | 3秒間隔の推定区間 | 36個 |
| Scaling　Function | f(x)=1/(1+exp(－(x－平均値)/標準偏差))<br>ただし、x≦最小値　f(x)=0,<br>x≧最大値　f(x)=1 | |
| 入出力関数 | f(x)=1 / (1+exp(－x) | |

表.4.2.2　推定区間におけるニューラルネットワークの学習の結果

| 推定区間 | 項目 | 単位動作 | | | | | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | motion1 歩く | motion2 木材の取り出し | motion3 木材の運搬 | motion4 木材の調整 | motion5 鋸の取り出し | motion6 鋸の調整 | motion7 木材の切断 | motion8 鋸の戻し | motion9 ハンマの取り出し | motion10 釘の取り出し | motion11 釘の打ちつけ | motion12 ハッマの戻し | |
| 1秒 | 全体件数(件) | 48 | 20 | 52 | 26 | 50 | 20 | 157 | 42 | 37 | 57 | 90 | 62 | 661 |
| | 的中件数(件) | 48 | 19 | 47 | 23 | 47 | 18 | 153 | 42 | 35 | 56 | 88 | 56 | 632 |
| | 的中率(%) | 100.00 | 95.00 | 90.38 | 88.46 | 94.00 | 90.00 | 97.45 | 100.00 | 94.59 | 98.25 | 97.78 | 90.32 | 95.61 |
| 2秒 | 全体件数(件) | 48 | 16 | 48 | 26 | 38 | 21 | 159 | 40 | 29 | 61 | 84 | 66 | 636 |
| | 的中件数(件) | 48 | 16 | 48 | 26 | 35 | 17 | 156 | 36 | 27 | 58 | 84 | 65 | 616 |
| | 的中率(%) | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 92.11 | 80.95 | 98.11 | 90.00 | 93.10 | 95.08 | 100.00 | 98.48 | 96.86 |
| 3秒 | 全体件数(件) | 32 | 2 | 55 | 25 | 35 | 19 | 157 | 42 | 21 | 57 | 92 | 62 | 599 |
| | 的中件数(件) | 32 | 1 | 55 | 25 | 35 | 18 | 155 | 42 | 19 | 57 | 91 | 62 | 592 |
| | 的中率(%) | 100.00 | 50.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 94.74 | 98.73 | 100.00 | 90.48 | 100.00 | 98.91 | 100.00 | 98.83 |

表.4.2.3 にはデータを実測した時間間隔である 0.1 秒毎に学習した結果の的中率を求めた結果である。表に示す如く、1 秒幅の推定区間における全単位動作に対する的中率は 91.04%であり、2 秒幅の推定区間における全単位動作に対する的中率は 86.86%であり、3 秒間隔の推定区間における全単位動作に対する的中率は 82.96 であり、表.4.2.2 に示した的中率より低い結果である。それは、設定した推定区間の時間幅に含まれる単位動作の特性値が複数である場合、その特性値は含まれる時間の割合が多い単位動作として学習を行ったためである。

運搬における推定区間と 0.1 秒毎の学習した結果の的中率の関係を図.4.2.6 に示す。図に示す如く、的中率は概ね 1 秒幅と 2 秒幅で最大値を示している。また、比較的に長い時間を要する「木材の運搬」は推定区間が 3 秒幅に長くなっても的中率の変化はあまり見られないが、短い作業時間である「木材の取り出し」と「木材の調整」の的中率は低下する。これは、推定区間が長くなると、複数の単位動作が 1 つの推定区間の特性値に含まれるため、作業時間が短い単位動作は特有な傾向が出難くなるためであると考えられる。

加工における推定区間と 0.1 秒毎の学習した結果の的中率の関係を図.4.2.7 に示す。図に示す如く、的中率は 1 秒幅と 3 秒幅の推定区間において最大値を示している。また、「鋸の調整」は比較的短い作業時間であったため、他の単位動作に比較して概ね 20－30%低い的中率を示している。

取付けにおける推定区間と 0.1 秒毎の学習した結果の的中率の関係を図 4.2.8 に示す。図に示す如く、的中率 1 秒幅と 2 秒幅で最大値を示している。また、「釘の取り出し」と「ハンマの取り出し」は比較的短い作業時間であったため、推定区間が 3 秒幅になると的中率が低下している。

表.4.2.3　推定区間別の 0.1 秒毎の学習した結果の的中率

| | | 単位動作 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 推定区間 | 項目 | motion1 歩く | motion2 木材の取り出し | motion3 木材の運搬 | motion4 木材の調整 | motion5 鋸の取り出し | motion6 鋸の調整 | motion7 木材の切断 | motion8 鋸の戻し | motion9 ハンマの取り出し | motion10 釘の取り出し | motion11 釘の打ちつけ | motion12 ハッマの戻し | 全単位動作 |
| 1秒 | 作業時間(秒) | 30.00 | 21.70 | 48.10 | 28.20 | 47.10 | 21.30 | 157.40 | 43.20 | 37.70 | 57.50 | 87.80 | 63.00 | 613.00 |
| | 的中時間(秒) | 30.00 | 18.30 | 42.00 | 22.30 | 44.30 | 16.20 | 150.10 | 40.50 | 34.00 | 52.60 | 83.10 | 54.70 | 558.10 |
| | 的中率(%) | 100.00 | 84.33 | 87.32 | 79.08 | 94.06 | 76.06 | 95.36 | 93.75 | 90.19 | 91.48 | 94.65 | 86.83 | 91.04 |
| 2秒 | 作業時間(秒) | 60.00 | 27.40 | 96.20 | 48.40 | 78.20 | 42.60 | 314.80 | 75.40 | 59.40 | 115.00 | 175.60 | 120.00 | 1153.00 |
| | 的中時間(秒) | 60.00 | 21.70 | 80.10 | 38.20 | 63.50 | 23.60 | 297.50 | 61.20 | 47.40 | 99.90 | 157.50 | 110.90 | 1001.50 |
| | 的中率(%) | 100.00 | 79.20 | 83.26 | 78.93 | 81.20 | 55.40 | 94.50 | 81.17 | 79.80 | 86.87 | 89.69 | 92.42 | 86.86 |
| 3秒 | 作業時間(秒) | 90.00 | 27.40 | 134.00 | 68.60 | 93.90 | 63.30 | 472.20 | 112.60 | 65.40 | 172.20 | 263.40 | 175.00 | 1648.00 |
| | 的中時間(秒) | 90.00 | 1.50 | 119.00 | 45.50 | 82.60 | 28.90 | 432.00 | 92.70 | 42.10 | 137.30 | 231.90 | 153.70 | 1367.20 |
| | 的中率(%) | 100.00 | 5.47 | 88.81 | 66.33 | 87.97 | 45.66 | 91.49 | 82.33 | 64.37 | 79.73 | 88.04 | 87.83 | 82.96 |

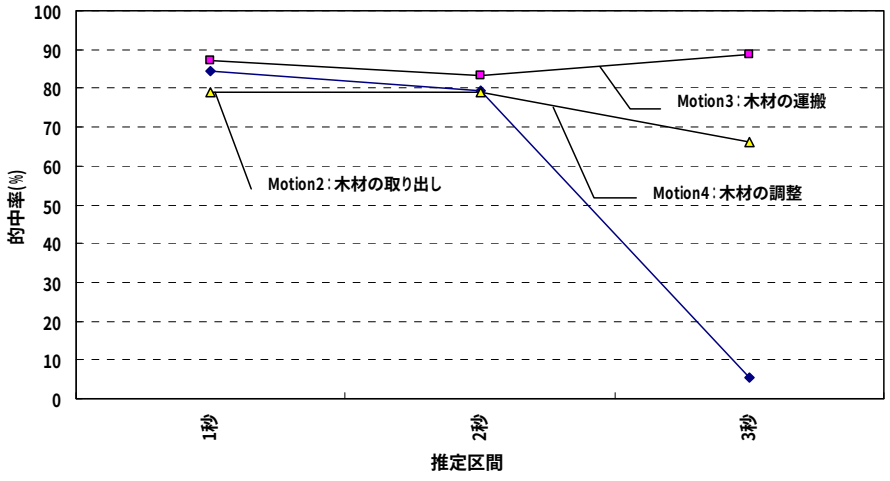



図.4.2.6　運搬における推定区間と 0.1 秒毎の学習した結果の的中率の関係

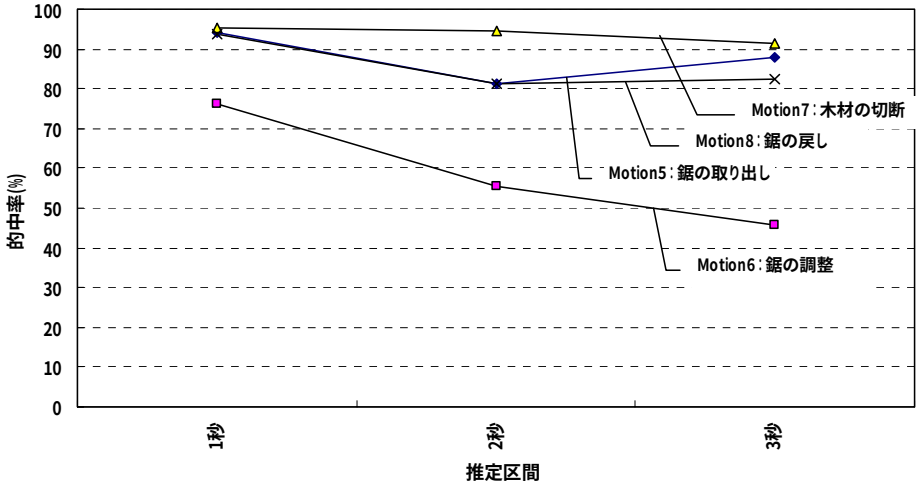



図.4.2.7　加工における推定区間と 0.1 秒毎の学習した結果の的中率の関係

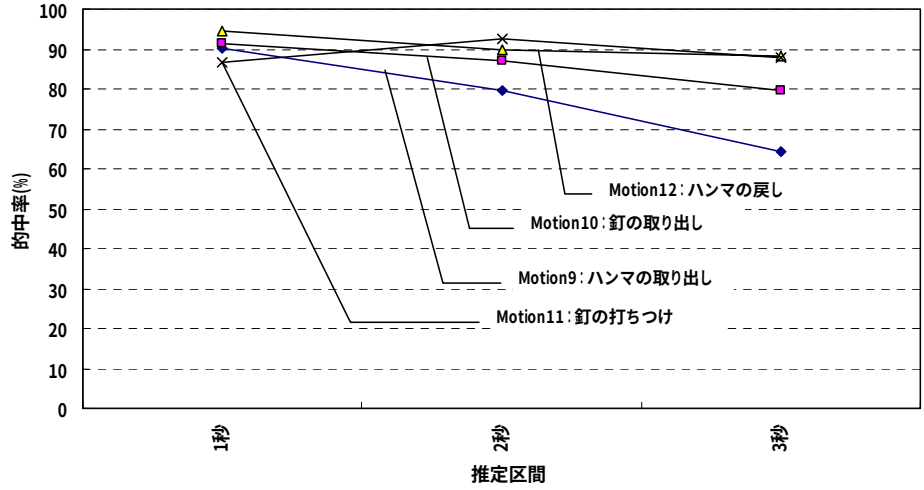



図.4.2.8　取付けにおける推定区間と 0.1 秒毎の学習した結果の的中率の関係

**③認識値の平均を用いた推定結果の算出**

各推定区間における単位動作の認識値の平均を求め、それが最大の単位動作を総合的な推定結果とした。図.4.2.9 にはニューラルネットワークにおける単位動作の認識値を用いた推定結果の算出過程を示す。図に示す如く、推定区間の 1 秒幅、2 秒幅、3 秒幅のニューラルネットワークの認識値を経過時間の 1 秒間隔に合わせて分類する。分類した各時間間隔における認識値を単位動作毎に平均する。求めた平均値を 1 秒間隔に比較し、最大である平均値を持つ単位動作をその時点における推定結果とする。例えば、0 秒から 1 秒までの時間における認識値の平均値は 0.416 が最大値であり、それを持つ「鋸の取り出し」を 0 秒から 1 秒までの時間における推定結果とする。

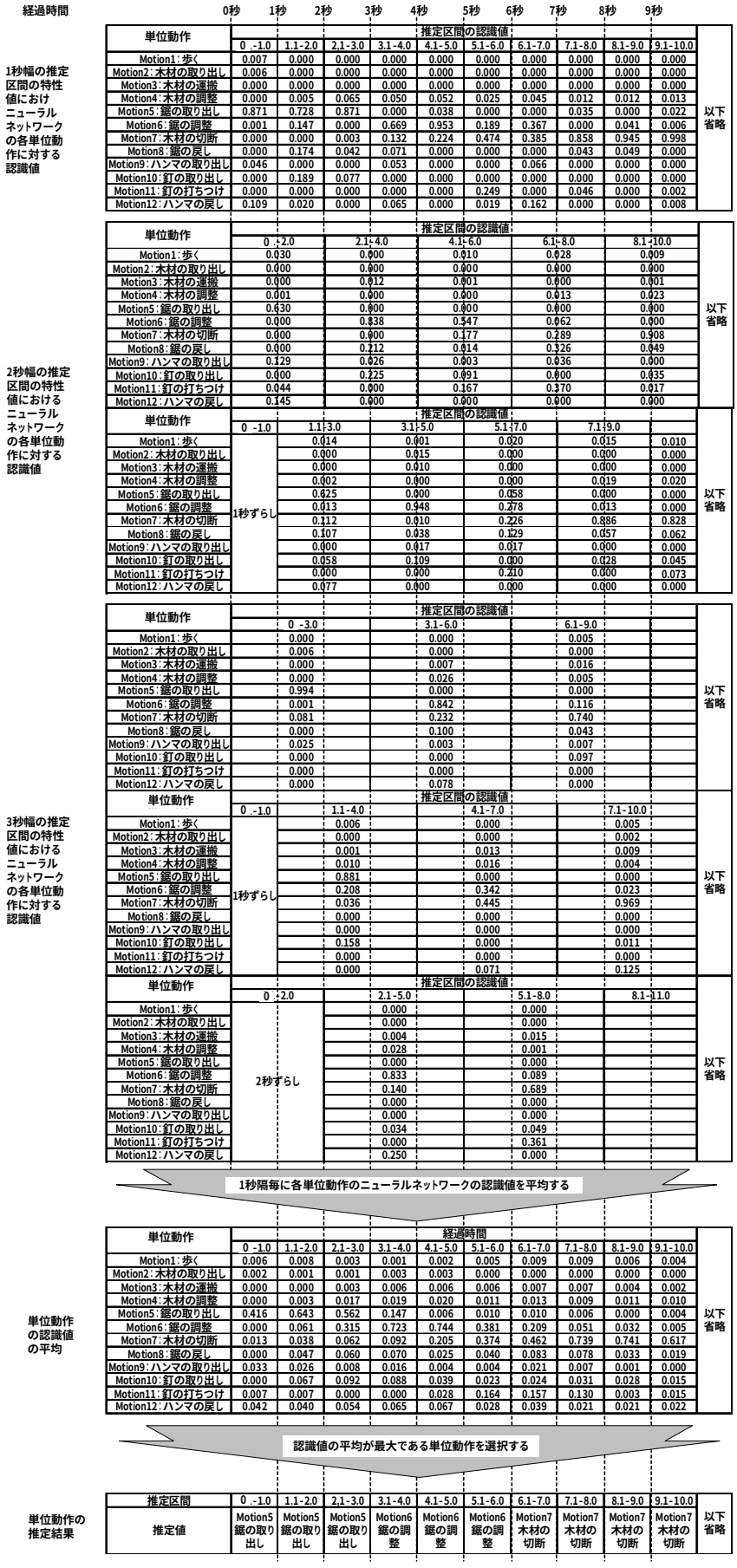



図.4.2.9　ニューラルネットワークの認識値を用いた推定結果の算出過程の事例

以上の認識値の平均値から求めた単位動作の推定結果の的中率を表.4.2.4 に示す。表に示す如く、各推定区間におけるニューラルネットワークの学習した結果の的中率は概ね85%であるのに比較して、提案した総合的評価の方法を用いた推定結果の的中率は93.56%であり、作業者の特異な姿勢の発生または、特性値に単位動作が複数含まれることによって起こり得る推定の誤差が少なくなっていることが判った。

全作業時間に対する単位動作時間の割合と推定結果の的中率の関係を図.4.2.10 に示す。図に示す如く､全作業時間に対する時間の割合が高い単位動作が高い的中率を示している。また、時間の割合が 5%以上の単位動作の的中率は概ね 90%以上を得ている。このことから、本推定方法は、全作業に占める時間の割合が少ない単位動作でもほぼ正確に推定していることが判った。

表.4.2.5 には実測した単位動作の作業時間に対する推定結果の作業時間の割合を示す。実測値と異なる推定結果は、同じ作業を構成する単位動作間に多く発生する。このことから、推定の誤差は、推定区間の時間幅に複数の単位動作の特性値が含まれる場合に発生する確率が高いことが判った。

表.4.2.4　学習データにおける 0.1 秒毎の推定結果の的中率

| 項目 | 単位動作 | | | | | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | motion1 歩く | motion2 木材の取り出し | motion3 木材の運搬 | motion4 木材の調整 | motion5 鋸の取り出し | motion6 鋸の調整 | motion7 木材の切断 | motion8 鋸の戻し | motion9 ハンマの取り出し | motion10 釘の取り出し | motion11 釘の打ちつけ | motion12 ハッマの戻し | |
| 作業時間(秒) | 48.00 | 21.70 | 48.10 | 28.20 | 47.10 | 21.30 | 157.40 | 43.20 | 37.70 | 57.50 | 87.80 | 63.00 | 661.00 |
| 的中時間(秒) | 48.00 | 14.50 | 46.90 | 24.30 | 45.30 | 14.10 | 151.50 | 40.50 | 34.90 | 53.80 | 84.60 | 60.20 | 618.60 |
| 的中率(%) | 100.00 | 66.82 | 97.51 | 86.17 | 96.18 | 66.20 | 96.25 | 93.75 | 92.57 | 93.57 | 96.36 | 95.56 | 93.59 |

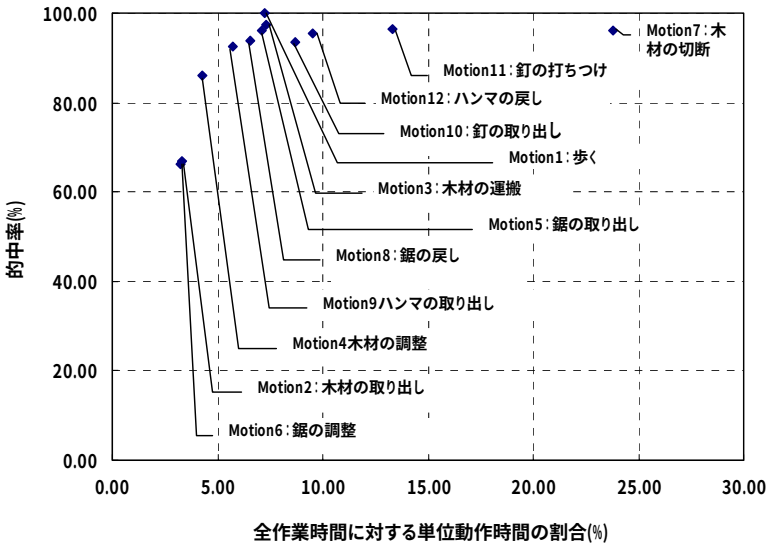



図.4.2.10　全作業時間に対する単位動作時間の割合と推定結果の的中率の関係

表.4.2.5　単位動作の実測値の作業時間と推定結果の作業時間の関係

| 単位動作の実測値 | | 単位動作の推定値 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | motion1 歩く | motion2 木材の取り出し | motion3 木材の運搬 | motion4 木材の調整 | motion5 鋸の取り出し | motion6 鋸の調整 | motion7 木材の切断 | motion8 鋸の戻し | motion9 ハンマの取り出し | motion10 釘の取り出し | motion11 釘の打ちつけ | motion12 ハッマの戻し | 全単位動作 |
| motion1 歩く | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion2 木材の取り出し | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 66.82 | 33.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion3 木材の運搬 | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 1.04 | 97.51 | 1.46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion4 木材の調整 | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 13.83 | 86.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion5 鋸の取り出し | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 96.18 | 3.82 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion6 鋸の調整 | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.66 | 66.20 | 13.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion7 木材の切断 | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 2.60 | 96.25 | 0.95 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion8 鋸の戻し | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.25 | 93.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion9 ハンマの取り出し | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.57 | 7.43 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| motion10 釘の取り出し | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.91 | 93.57 | 4.52 | 0.00 | 100.00 |
| motion11 釘の打ちつけ | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.59 | 96.36 | 2.05 | 100.00 |
| motion12 ハッマの戻し | 実測値に対する推定結果の割合(%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.44 | 95.56 | 100.00 |

### ④検証データを用いた推定結果

学習データに基づいて構築したニューラルネットワークを用いて、検証データについて推定を行った。表.4.2.6 に検証データにおける単位動作の推定結果の的中率を示す。表に示す如く、検証データについての的中率は全単位動作について 76.34%であった。その結果、検証データについても提案した方法は有効であることを確認した。

表.4.2.6　検証データによる単位動作の推定結果の的中率

| 項目 | 単位動作 | | | | | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | motion1 歩く | motion2 木材の取り出し | motion3 木材の運搬 | motion4 木材の調整 | motion5 鋸の取り出し | motion6 鋸の調整 | motion7 木材の切断 | motion8 鋸の戻し | motion9 ハンマの取り出し | motion10 釘の取り出し | motion11 釘の打ちつけ | motion12 ハッマの戻し | |
| 作業時間(秒) | 12.00 | 5.80 | 11.70 | 6.50 | 8.70 | 6.00 | 43.50 | 9.80 | 8.50 | 12.90 | 23.10 | 15.50 | 164.00 |
| 的中時間(秒) | 12.00 | 1.00 | 10.30 | 2.60 | 3.00 | 2.60 | 42.20 | 5.60 | 8.00 | 10.70 | 21.20 | 6.00 | 125.20 |
| 的中率(%) | 100.00 | 17.24 | 88.03 | 40.00 | 34.48 | 43.33 | 97.01 | 57.14 | 94.12 | 82.95 | 91.77 | 38.71 | 76.34 |

### 4.2.4.結

作業者の姿勢から収集した 6 自由度データから算出した 12 個の特性値を用いた単位動作の推定方法の提案を行った。先ず、推定の対象である作業のレベルは単位動作とすることを述べ､その定義を行った｡推定は作業を実行する時間幅に合わせて行う必要性を述べ、その時間幅を推定区間とすることを提案した。また、作業の時系列における単位動作の開始時間によって推定区間の特性値がずれることによる推定の誤差を減少する方法として、多段階による推定区間の設定方法を提案した。(図.4.2.1 参照)

特性値から単位動作を推定するアルゴリズムとして誤差逆伝播法を持つニューラルネットワークを採りあげ、推定区間における単位動作の認識値の算出方法を提案した。(図.4.2.2 参照)その構造は、12 個の特性値を Input neurons とし、実施する単位動作の有無を示す認識値を Output neurons とした。

また、推定区間毎に求めた認識値の各時点における単位動作の平均を求め、この平均が最大である単位作業を推定結果とすることにより、推定の精度を向上させる総合的な評価方法を提案した。(図.4.2.3 参照)

提案した推定方法の適用を検討するために、基本的な 12 個の単位動作（図.4.2.5 参照）における作業実験を行い、収集したデータに基づいて推定を行った。以下の項目にその結果を示す。

① 推定区間のニューラルネットワークの学習結果の的中率：1 秒間隔－95.61%、2 秒間隔－96.86%、3 秒間隔－98.83%(表.4.2.2 参照)

② 測定間隔 0.1 秒におけるニューラルネットワークの学習結果の的中率：1 秒間隔－91.04%、2 秒間隔－86.86%、3 秒間隔－82.96%(表.4.2.3 参照)

③ 測定間隔 0.1 秒における学習データの推定結果の的中率：93.59%（表.4.2.4 参照）

④ 測定間隔 0.1 秒における検証データの推定結果の的中率：76.34%（表.4.2.6 参照）

本実験では、6 自由度センサーやコンピュータの制約のため 3 つのセンサーを使用したが、センサーの数を増やすことによって、さらに推定の精度を高めることが出来ると考えられる。また、単位動作の的中率は推定区間の幅に関係していることを明らかにし、多段階の推定区間を用いて総合的に評価する方法が有効であることを確認した。

以上の検討の結果、提案した推定方法は単位動作の推定において有効であることを確認した。

### 4.3.パネル取付け作業における適用

#### 4.3.1.作業実験の概要

建築作業における推定方法の有効性を検証するために、実験室において、パネル取付け作業を実施し、作業者の姿勢の 6 自由度データを収集した。そのデータを用いて単位動作の推定を行った。作業の実験は、先ず予備実験を行い、作業者を習熟させるとともに作業の内容を把握した。そして、6 自由度センサーを頭、右腕、及び右脚に装着して実験を行うこととした。なお、作業状況はビデオで撮影し、0.1 秒間隔で単位動作を記録した。表.4.3.1 には作業を行った実験場の状況を示す。作業を行った作業者は表.4.3.2 に示す如く、大工と合板加工の 2 人とした。

表.4.3.1　実験場の状況

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 実験場所 | 早稲田大学ヒューマン実験室 |
| 実験日 | 2001 年 12 月 17 日の 1 日間 |
| 天気 | 晴れ |
| 実験室平均気温 | 約 18℃ |

表.4.3.2　作業者の概要

| 項目 | 作業者 A | 作業者 B |
|---|---|---|
| 職種 | 合板加工 | 大工 |
| 経歴 | 13 年 | 30 年 |
| 年齢 | 49 才 | 58 才 |
| 身長 | 154cm | 162cm |
| 両手巾 | 152.5cm | 167cm |
| 股下長 | 80cm | 90cm |
| 体重 | 66kg | 65kg |

実験に用いたパネルは特殊製作した重さ約 4.5Kg の発砲スチレン樹脂を埋め込んだ木製のものであった。作業に用いたパネルの詳細を図.4.3.1 に示す。パネルは壁に予め設置した木軸下地にボルトを用いて取付ける。図.4.3.2 にはパネルの取付け方法を示す。図に示す如く、パネルの 4 ヶ所の穴を木軸下地の埋め込みナットに合わせて、穴にボルトを通し、ボルトを手で締めってパネルを取付ける。図.4.3.3 には実験を行った作業場におけるパネルの配置、運搬の動線、取付けの位置の平面図を示す。図に示す如く、パネルが置かれている位置は常に同じであり、取付け位置は同図上部の左隅から右隅まで 7 箇所である。運搬と移動は点線に示す作業者の動線上に限定した。

取付け作業の順序はパネルが置かれている場所から 2 人の作業者が 1 枚のパネルを手に取り、作業動線上を持ち歩き、取付け位置まで運搬する。取付け位置にパネルを合わせて、1 名の作業者が 4 本のボルトの締め付け、その間他の作業者がパネルを保持する。パネル

の取付けが完了するとパネルが置かれている場所まで作業動線上を歩いて戻る。以上の作業を 7 枚のパネルに対して繰り返し行う。

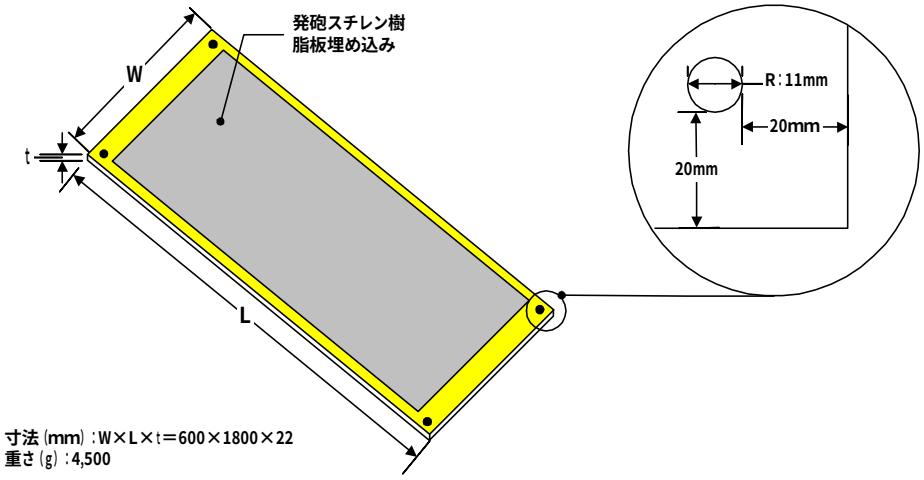



図.4.3.1　作業実験に用いたパネルの詳細（単位：mm）

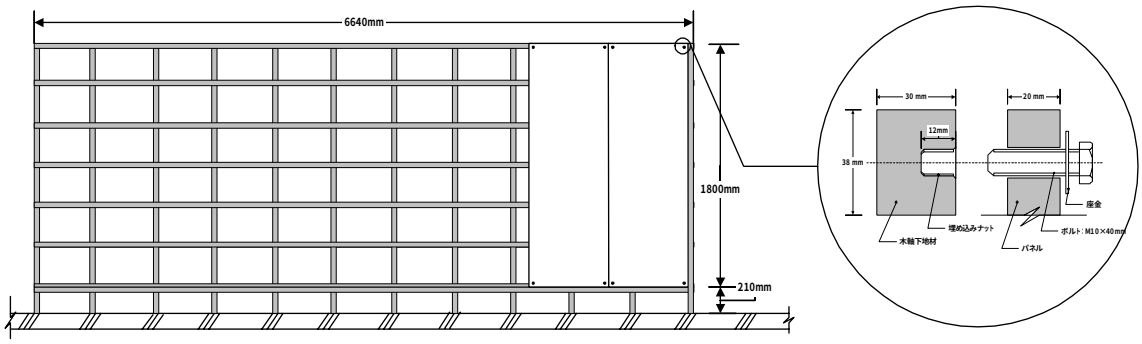



図.4.3.2　パネルの取付け方法（単位：mm）

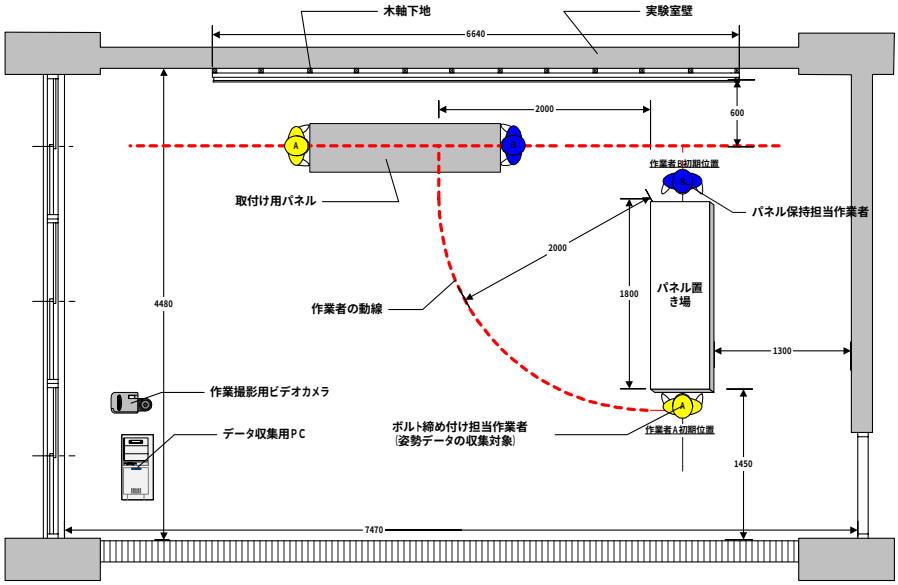



図 4.3.3　実験場の状況（単位：mm）

パネル取付け作業を単位動作に分割した結果を図.4.3.4 に示す。図に示す如く、パネル取付け作業を、「運搬」、「取付け」、「移動」の 3 つの単位作業の分類項目に基づき、8 つの単位動作に分割した。

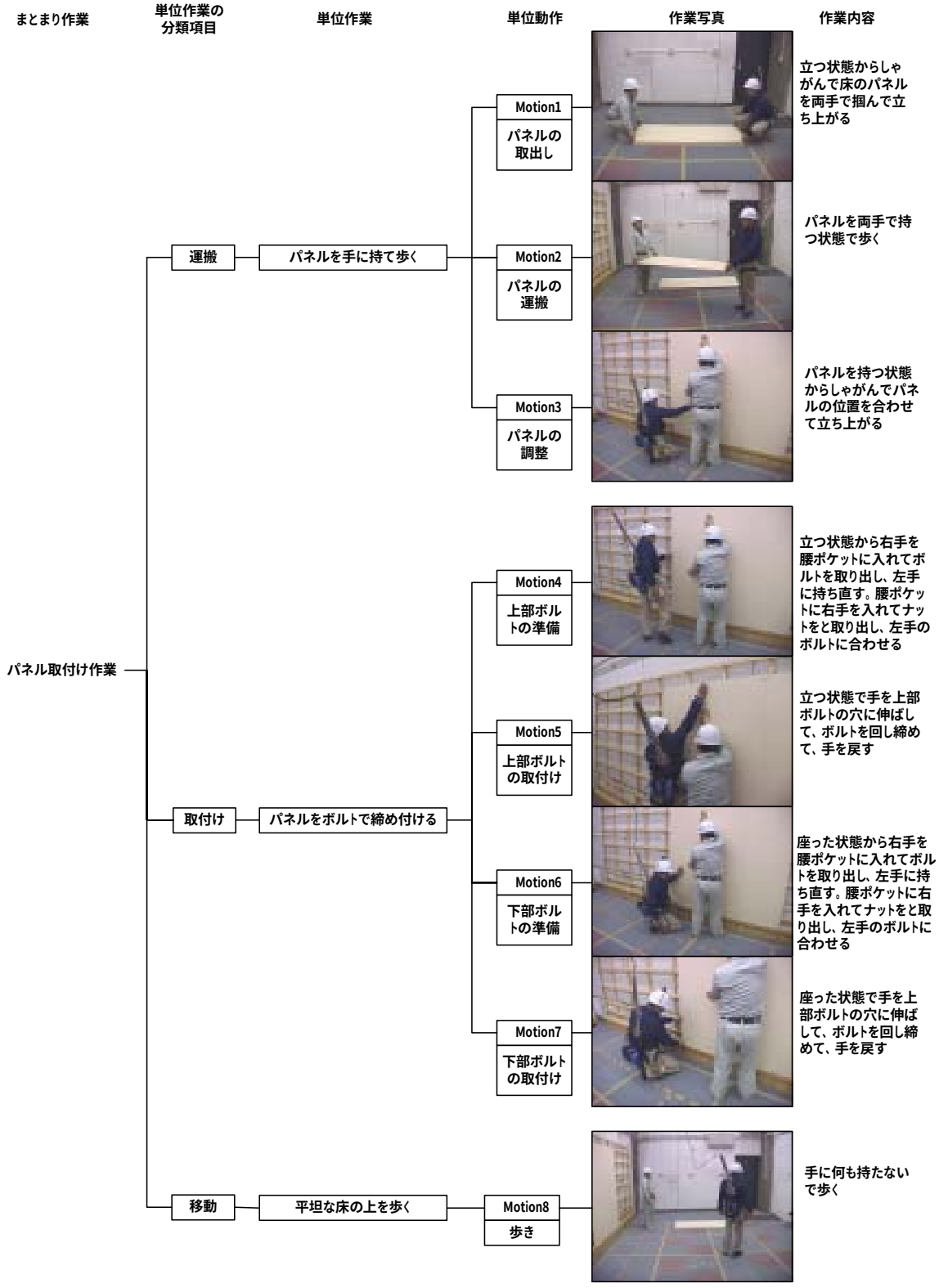



図.4.3.4　パネル取付け作業の単位動作と作業写真

作業実験は、作業者が作業と装着したセンサー装置に慣れるまで、4・5 回に亘って作業を繰り返し実施し、作業内容に習熟した状態で本実験を行った。

実験では、7 枚のパネルを取付ける一連の作業を合計 5 回行った。作業内容をビデオ撮影した結果に基づいて、1 枚のパネルを取付けるために必要な各作業の所用時間を求めた結果を表.4.3.3 に示す。1 枚のパネルを取付ける単位動作の比率は下部ボルトの取付け(Motion7)が 23.11%、上部ボルトの取付け(Motion5)が 22.30%と高く、その次に下部ボルトの準備(Motion6)が 15.25%、上部ボルトの準備(Motion4)が 14.10%となっている。

なお、パネルの運搬(Motion2)及び、帰りの歩き(Motion8)は、取付け位置によってパネルの置き場からの距離が変化する。そのため、パネルの運搬は平均の時間値が 4.82 秒/枚であるが、近いパネルでは最小値 3.6 秒、遠いパネルでは最大値 6.1 秒と変化している。また帰りの歩きも同様に取付け位置によって最大値 10.5 秒､最小値 5.6 秒と変化している。

パネル取付け作業において、ボルトの取付けは木軸の埋め込みナットとボルトの合わせが取付け場所によって手直す場合が生じたため、変動係数が上部の場合 0.22、下部の場合 0.29 と比較的高い数値を示している。

表.4.3.3　1 枚のパネル取付けにおける単位動作の平均時間と比率

| 構成動作 | パネルの取出し | パネルの運搬 | パネルの調整 | 上部ボルトの準備 | 上部ボルトの取付け | 下部ボルトの準備 | 下部ボルトの取付け | 歩き | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Motion1 | Motion2 | Motion3 | Motion4 | Motion5 | Motion6 | Motion7 | Motion8 | |
| 1枚当たり平均時間(秒/枚) | 2.38 | 4.82 | 6.63 | 11.80 | 18.66 | 12.76 | 19.34 | 7.29 | 83.67 |
| 標準偏差(秒/枚) | 0.36 | 0.79 | 0.69 | 1.41 | 4.10 | 1.88 | 5.62 | 1.07 | 7.57 |
| 変動係数 | 0.15 | 0.16 | 0.10 | 0.12 | 0.22 | 0.15 | 0.29 | 0.15 | 0.09 |
| 最大値(秒) | 3.10 | 6.10 | 8.50 | 15.50 | 30.70 | 20.10 | 39.30 | 10.50 | 104.60 |
| 最小値(秒) | 1.30 | 3.60 | 5.80 | 9.60 | 12.70 | 10.40 | 14.00 | 5.60 | 73.30 |
| 比率(%) | 2.84 | 5.76 | 7.92 | 14.10 | 22.30 | 15.25 | 23.11 | 8.71 | 100.00 |

### 4.3.2.姿勢の測定と特性値の算出

パネル取付け作業における 6 自由度データの収集はボルトを取付ける作業者に対して行った。実験においてはセンサーによって測定される 6 自由度データの値を全ての施行で統一するため、作業者が同じ姿勢から作業を開始するようにし、センサーのゼロ点調整(キャーリブレーション)を行った。

図.4.3.5 には事例として、1 枚のパネルの取付けにおける 6 自由度データの時系列的な動きを示したものである。同図において、頭、腕、脚センサーにおける X 軸、Y 軸、Z 軸に対する角度と加速度データが、単位動作の特有の波形を示していることが判る。

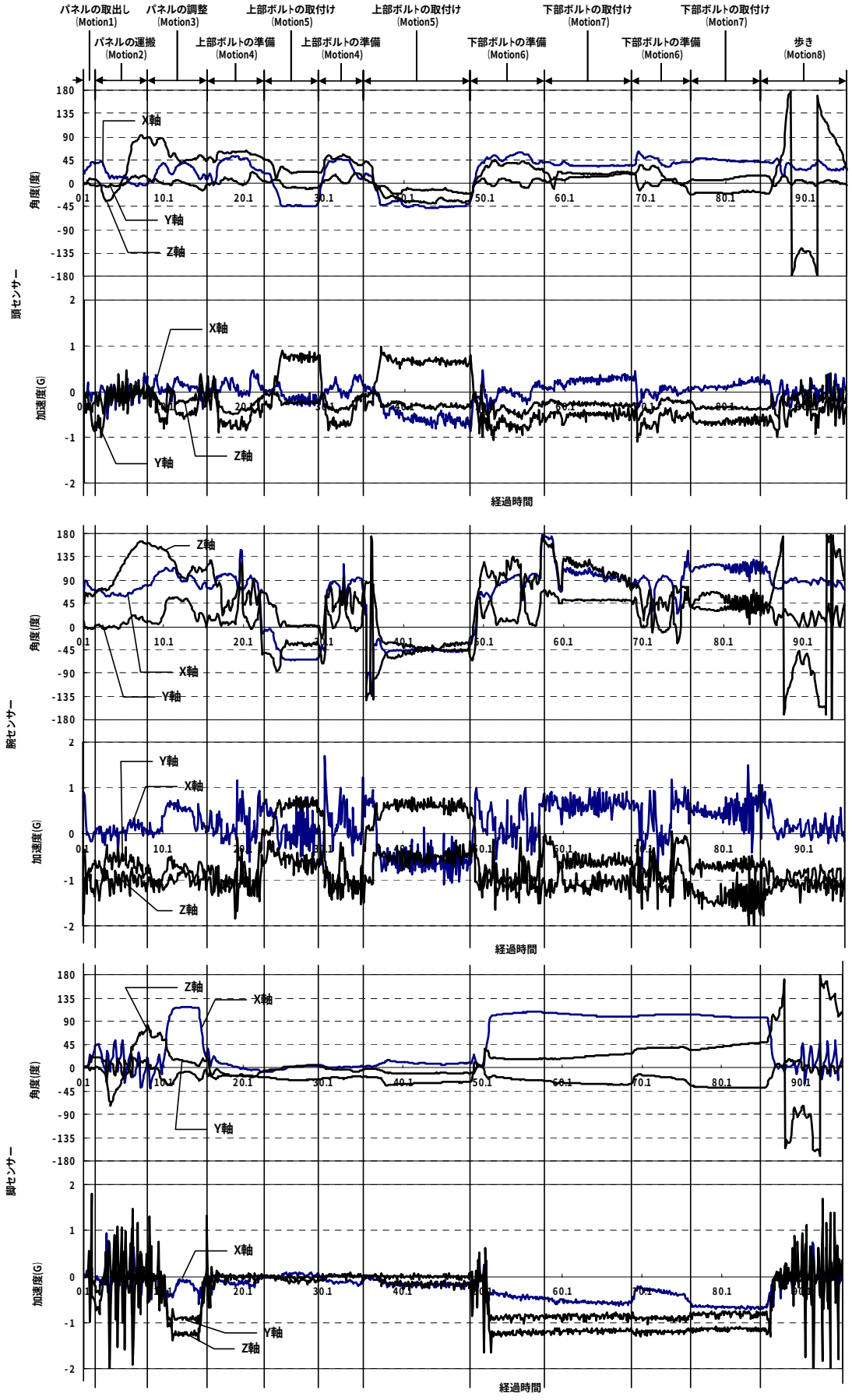



図.4.3.5　1 枚のパネル取付け作業の 6 自由度データの時系列変化

収集した 6 自由度データを用いた特性値の算出は、推定区間を 1 秒幅、2 秒幅、3 秒幅、4 秒幅、5 秒幅にし、1 秒づつずらしながら 15 系列に行った。設定した各推定区間は 0.1 秒単位で測定した実測値に基づいて単位動作の定義を行った。

算出した各単位動作の 12 の特性値について、その類似度を調べるためにクラスタ分析を行った。図.4.3.6 には、単位動作間の特性値のクラスタ分析の結果を示す。図に示す如く、作業者の腰の高さが異なり作業内容が同じである、「上部ボルトの準備」と「下部ボルトの準備」、及び「上部ボルトの取付け」と「下部ボルトの取付け」は類似度が高いことが判る。「パネルの運搬」と最初の作業位置に戻る「歩き」についても、歩行を伴う作業として類似度が高い結果となっている。また、「パネルの取出し」と「パネルの調整」は座った姿勢で腕を若干動かす作業であるため、特性値の類似度が高くなっている。全般的には、腕を主に動かす単位動作と足を主に動かす単位動作に区分されている。この結果から、特性値は概ね各単位動作の特性を表していると考えることが出来る。

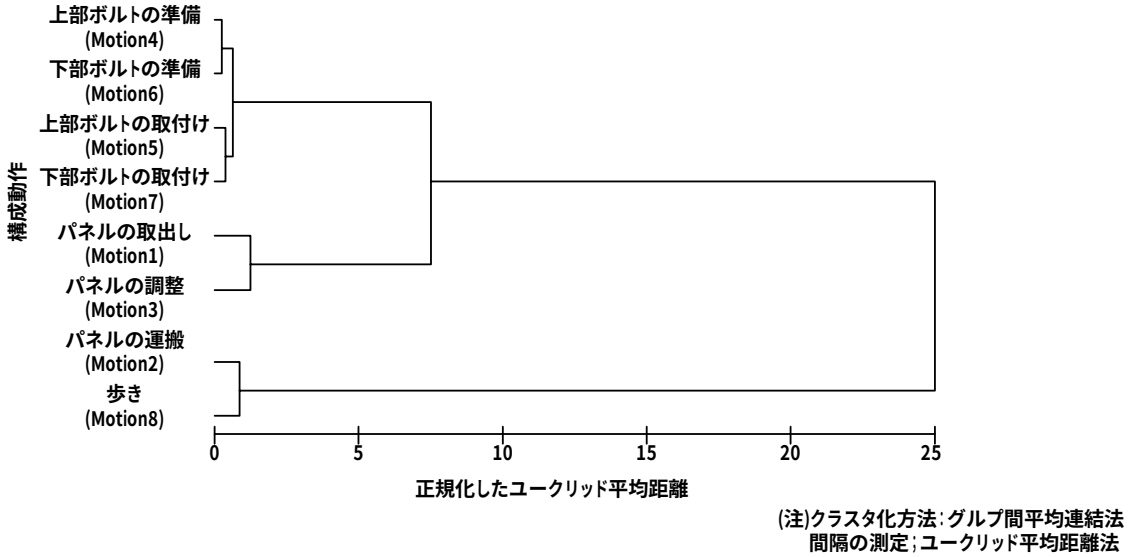



図.4.3.6　単位動作間の特性値の類似度

### 4.3.3.ニューラルネットワークの学習と作業内容の推定結果

#### ①ニューラルネットワークの学習と結果

実測したパネル取付け作業の単位作業を 0.1 間隔に記録した各時点の単位動作の実測結果及び、6 自由度データに基づく 12 の特性値を用いて、1 秒から 5 秒幅の推定区間にそれぞれ 1 秒づつずらせて、図.4.3.7 に示すように 15 系列のニューラルネットワークの学習を行った。表 4.3.4 には推定に用いたニューラルネットワークの条件を示す。表に示す如く、ネットワークの構造は完全結合の逆伝播ネットワークであり、Hidden　Neurons　の数は

59 個であった。学習データは 28 枚のパネル取付け作業とし、7 枚のパネル取付け作業を検証データとして用いた。

表.4.3.4　推定に用いたニューラルネットワークの概要

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| ネットワーク構造 | 完全結合の逆伝播ネットワーク |
| 学習データ | 28 枚のパネル取付け作業(作業時間 39.45 分)における 6 自由度データの特性値 |
| Hidden Neurons の数 | 59 個 |
| Scaling Function 数 | f(x)=1/(1+exp(－(－x－平均値)/標準偏差))<br>ただし、x≦最小値　f(x)=0<br>x≧最大値　f(x)=1 |
| 入出力関数 | f(x)=1/(1+exp(－x) |

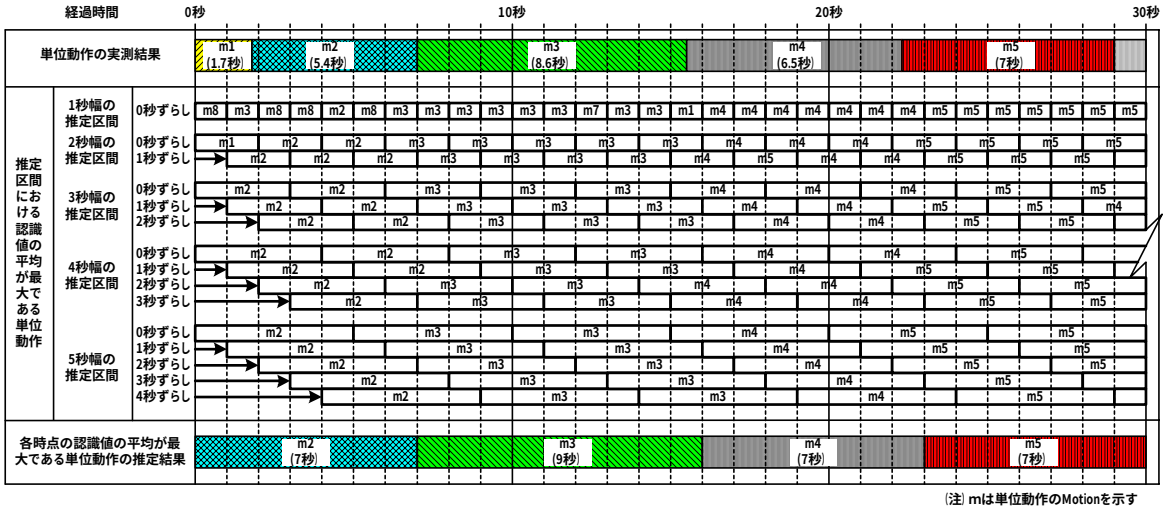



図.4.3.7　単位動作の実測結果に対する各推定区間の認識値

各推定区間におけるニューラルネットワークの学習の結果を表.4.3.5 示す。表に示す如く、1 秒幅の推定区間における全単位動作に対する的中率は 83.06%、2 秒幅では 91.51%、3 秒幅では 93.49%、4 秒幅では 94.17%、5 秒幅では 93.20%となった。それを比較した結果、推定区間が短い場合、的中率は低くなる傾向があり、1 秒幅ではその誤差が大きいことが判った。これは、1 秒幅と言う短い時間で、単位動作を特性値から推定するため、誤差が大きいと考えられる。

図.4.3.8 には推定区間の各時間幅とニューラルネットワークの学習の結果との関係を示す。図に示す如く、パネル取付け作業の各単位動作は概ね 3－4 秒幅の推定区間において最大の的中率を示した。また、推定区間の時間幅が長くなると含まれる単位動作の特性値が多くなるため 5 秒幅は低い的中率を示した。単位動作別では、「パネルの運搬」「パネルの取出し」「パネルの調整」「下部ボルトの準備」が 1 秒幅から 3 秒幅まで比較的低い的中

率を示した。これは、その単位動作に作業者の姿勢の変化が短い時間で起こる「座る」または、「立つ」の動作が含まれているため、設定した推定区間が単位動作の時間幅より短くなった場合、短い時間の動作のデータを含む特性値が少なくなったことが原因であると考えられる。

表.4.3.5　各推定区間におけるニューラルネットワークの学習の結果

| 推定区間 | 項目 | 単位 動作 | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Motion1 パネルの取り出し | Motion2 パネルの運搬 | Motion3 パネルの調整 | Motion4 上部ボルトの準備 | Motion5 上部ボルトの取付け | Motion6 下部ボルトの準備 | Motion7 下部ボルトの取付け | Motion8 歩き | |
| 1秒 | 全体件数(件) | 71 | 132 | 191 | 339 | 515 | 366 | 548 | 205 | 2367 |
| | 的中件数(件) | 43 | 56 | 125 | 324 | 467 | 252 | 517 | 182 | 1966 |
| | 的中率(%) | 60.56 | 42.42 | 65.45 | 95.58 | 90.68 | 68.85 | 94.34 | 88.78 | 83.06 |
| 2秒 | 全体件数(件) | 69 | 135 | 188 | 334 | 522 | 367 | 548 | 204 | 2367 |
| | 的中件数(件) | 58 | 109 | 152 | 288 | 500 | 341 | 526 | 192 | 2166 |
| | 的中率(%) | 84.06 | 80.74 | 80.85 | 86.23 | 95.79 | 92.92 | 95.99 | 94.12 | 91.51 |
| 3秒 | 全体件数(件) | 69 | 132 | 191 | 339 | 515 | 366 | 548 | 207 | 2367 |
| | 的中件数(件) | 62 | 115 | 176 | 310 | 493 | 345 | 525 | 187 | 2213 |
| | 的中率(%) | 89.86 | 87.12 | 92.15 | 91.45 | 95.73 | 94.26 | 95.80 | 90.34 | 93.49 |
| 4秒 | 全体件数(件) | 67 | 135 | 188 | 334 | 522 | 367 | 548 | 206 | 2367 |
| | 的中件数(件) | 62 | 127 | 176 | 312 | 488 | 351 | 522 | 191 | 2229 |
| | 的中率(%) | 92.54 | 94.07 | 93.62 | 93.41 | 93.49 | 95.64 | 95.26 | 92.72 | 94.17 |
| 5秒 | 全体件数(件) | 61 | 136 | 191 | 339 | 515 | 366 | 548 | 211 | 2367 |
| | 的中件数(件) | 48 | 131 | 175 | 308 | 501 | 301 | 539 | 203 | 2206 |
| | 的中率(%) | 78.69 | 96.32 | 91.62 | 90.86 | 97.28 | 82.24 | 98.36 | 96.21 | 93.20 |

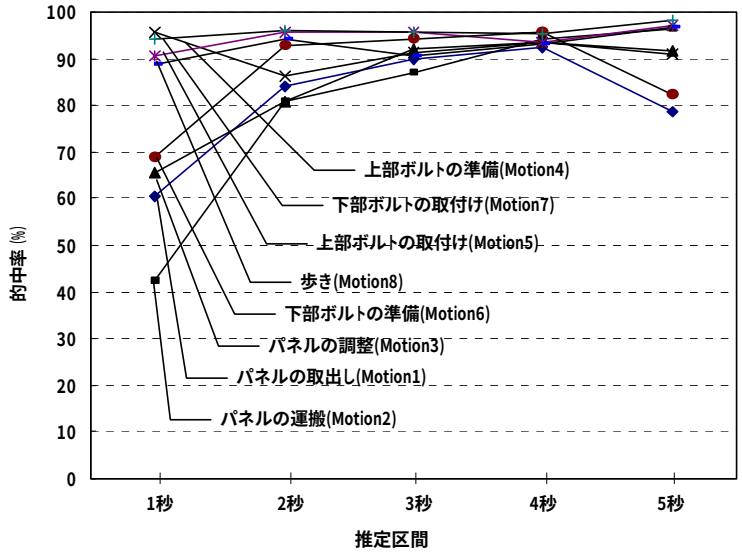



図.4.3.8　推定区間とニューラルネットワークの学習の結果との関係

ニューラルネットワークの学習の結果を単位動作の実測時間である 0.1 秒毎に的中率を求めた結果を表.4.3.6 に示す。表に示す如く、1 秒幅の推定区間における全単位作業に対する的中率は 81.97%、2 秒幅では 87.48%、3 秒幅では 86.32%、4 秒幅では 83.58%、5 秒幅では 80.34%となった。その結果は、表.4.3.5 における的中率の最大値が 4 秒幅であるのに対して、2 秒幅で最大の的中率を示した。また、的中率の平均は表.4.3.5 の的中率に比較して約 8%低い結果となった。その理由を以下の項目に記す。

a. 単位動作の実測は 0.1 秒幅で行い、推定区間の設定は 1 秒幅を最小単位として 1 秒づつずらして行ったため生じる誤差。

b. 推定区間の幅が長くなるにつれ､1 つの推定区間に含まれる単位動作の特性値が複数になることによる誤差。

図 4.3.9 には推定区間の各時間幅について、単位動作の実測した時間幅である 0.1 秒毎の実測結果に対する推定結果の的中率を示す。図に示す如く、パネル取付け作業の各単位動作は概ね 2－3 秒幅の推定区間において最大の的中率を示す。また、パネル取付け作業を構成する作業時間の比率が 2.84%と最も少ない「パネル取出し」は、平均時間が 2.38 秒であるため、推定区間が 3 秒幅以下になる場合、平均時間が 10 秒以上である単位作業に比較して約 40%低い的中率を示す。

表.4.3.6　推定区間別の 0.1 秒毎の学習した結果の的中率

| 推定区間 | 項目 | 単位 動作 | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Motion1 パネルの取り出し | Motion2 パネルの運搬 | Motion3 パネルの調整 | Motion4 上部ボルトの準備 | Motion5 上部ボルトの取付け | Motion6 下部ボルトの準備 | Motion7 下部ボルトの取付け | Motion8 歩き | |
| 1秒 | 作業時間(秒) | 68.70 | 133.30 | 187.80 | 335.20 | 520.40 | 364.80 | 550.10 | 206.70 | 2367.00 |
| | 的中時間(秒) | 40.90 | 55.60 | 120.90 | 315.70 | 463.60 | 248.40 | 512.90 | 182.30 | 1940.30 |
| | 的中率(%) | 59.53 | 41.71 | 64.38 | 94.18 | 89.09 | 68.09 | 93.24 | 88.20 | 81.97 |
| 2秒 | 作業時間(秒) | 136.40 | 266.60 | 375.60 | 670.40 | 1040.80 | 729.60 | 1100.20 | 413.40 | 4733.00 |
| | 的中時間(秒) | 95.50 | 204.90 | 292.50 | 545.50 | 970.50 | 644.70 | 1017.90 | 368.70 | 4140.20 |
| | 的中率(%) | 70.01 | 76.86 | 77.88 | 81.37 | 93.25 | 88.36 | 92.52 | 89.19 | 87.48 |
| 3秒 | 作業時間(秒) | 203.40 | 399.60 | 563.40 | 1005.60 | 1561.20 | 1094.40 | 1650.30 | 620.10 | 7098.00 |
| | 的中時間(秒) | 142.50 | 308.80 | 479.80 | 844.70 | 1400.60 | 947.50 | 1485.90 | 517.30 | 6127.10 |
| | 的中率(%) | 70.06 | 77.28 | 85.16 | 84.00 | 89.71 | 86.58 | 90.04 | 83.42 | 86.32 |
| 4秒 | 作業時間(秒) | 270.40 | 531.60 | 751.20 | 1340.80 | 2081.60 | 1459.20 | 2200.40 | 826.80 | 9462.00 |
| | 的中時間(秒) | 159.60 | 413.20 | 613.40 | 1087.20 | 1800.80 | 1232.30 | 1921.70 | 679.70 | 79079.00 |
| | 的中率(%) | 59.02 | 77.73 | 81.66 | 81.09 | 86.51 | 84.45 | 87.33 | 82.21 | 83.58 |
| 5秒 | 作業時間(秒) | 337.40 | 662.60 | 939.00 | 1676.00 | 2602.00 | 1824.00 | 2750.50 | 1033.50 | 11825.00 |
| | 的中時間(秒) | 134.20 | 504.30 | 723.30 | 1261.30 | 2262.40 | 1281.60 | 2462.20 | 871.00 | 9500.30 |
| | 的中率(%) | 39.77 | 76.11 | 77.03 | 75.26 | 86.95 | 70.26 | 89.52 | 84.28 | 80.34 |

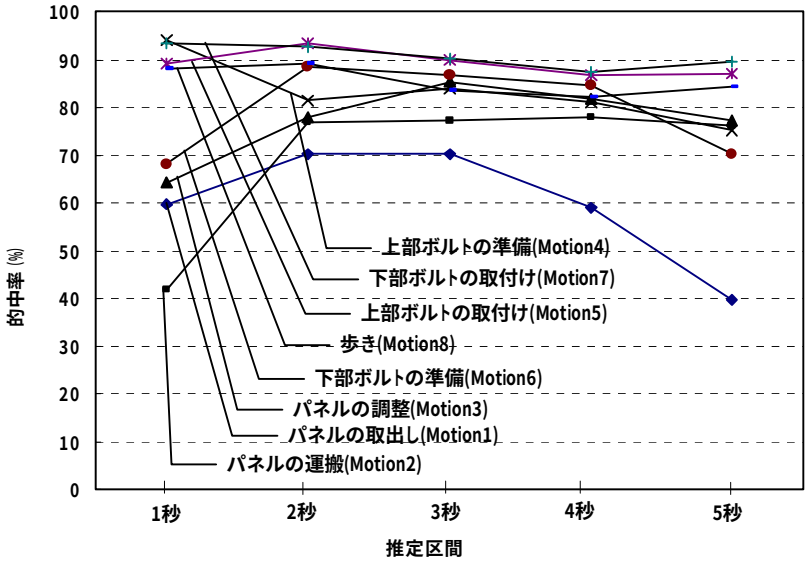



図.4.3.9　推定区間と 0.1 秒毎に学習した結果の関係

**②認識値の平均を用いた推定結果の算出**

学習したニューラルネットワークを用いて求めた各推定区間における認識値を用いて単位動作毎に算出した平均を経過時間 1 秒毎に比較し、それが最大である単位動作を推定結果とした。表.4.3.7 には学習データにおける認識値を用いて算出した推定結果の的中率を示す。表に示す如く、各推定区間におけるニューラルネットワークの学習の結果は概ね 85%の的中率であるのに比較して、認識値の平均を用いた推定結果の的中率は 93.77%であった。その結果、推定の誤差が約 9%少なくなっていることが判る。

図.4.3.10 には、実測した経過時間における単位動作に対して、推定結果を比較して時系列に示した事例である。図に示す如く、推定は概ね正確に行っている。また、単位動作が開始する時点と終了する時点に誤差が生じる確率が高いことを確認した。

図.4.3.11 には、全作業時間に対する単位動作時間の割合と推定結果の的中率の関係を示す。図に示す如く、全作業に対する割合が 5%以上である場合は 90%以上の的中率で推定できることと、5%以下でも約 70%の的中率で推定できることを確認した。

表.4.3.7　学習データにおける推定結果の 0.1 秒毎の的中率

| 項目 | 単位動作 | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Motion1 パネルの取り出し | Motion2 パネルの運搬 | Motion3 パネルの調整 | Motion4 上部ボルトの準備 | Motion5 上部ボルトの取付け | Motion6 下部ボルトの準備 | Motion7 下部ボルトの取付け | Motion8 歩き | |
| 作業時間(秒) | 68.70 | 133.30 | 187.80 | 335.10 | 520.40 | 364.70 | 550.10 | 206.70 | 2366.80 |
| 的中時間(秒) | 48.90 | 124.40 | 173.80 | 312.90 | 496.70 | 333.50 | 534.30 | 194.90 | 2219.40 |
| 的中率(%) | 71.18 | 93.32 | 92.55 | 93.38 | 95.45 | 91.45 | 97.13 | 94.29 | 93.77 |

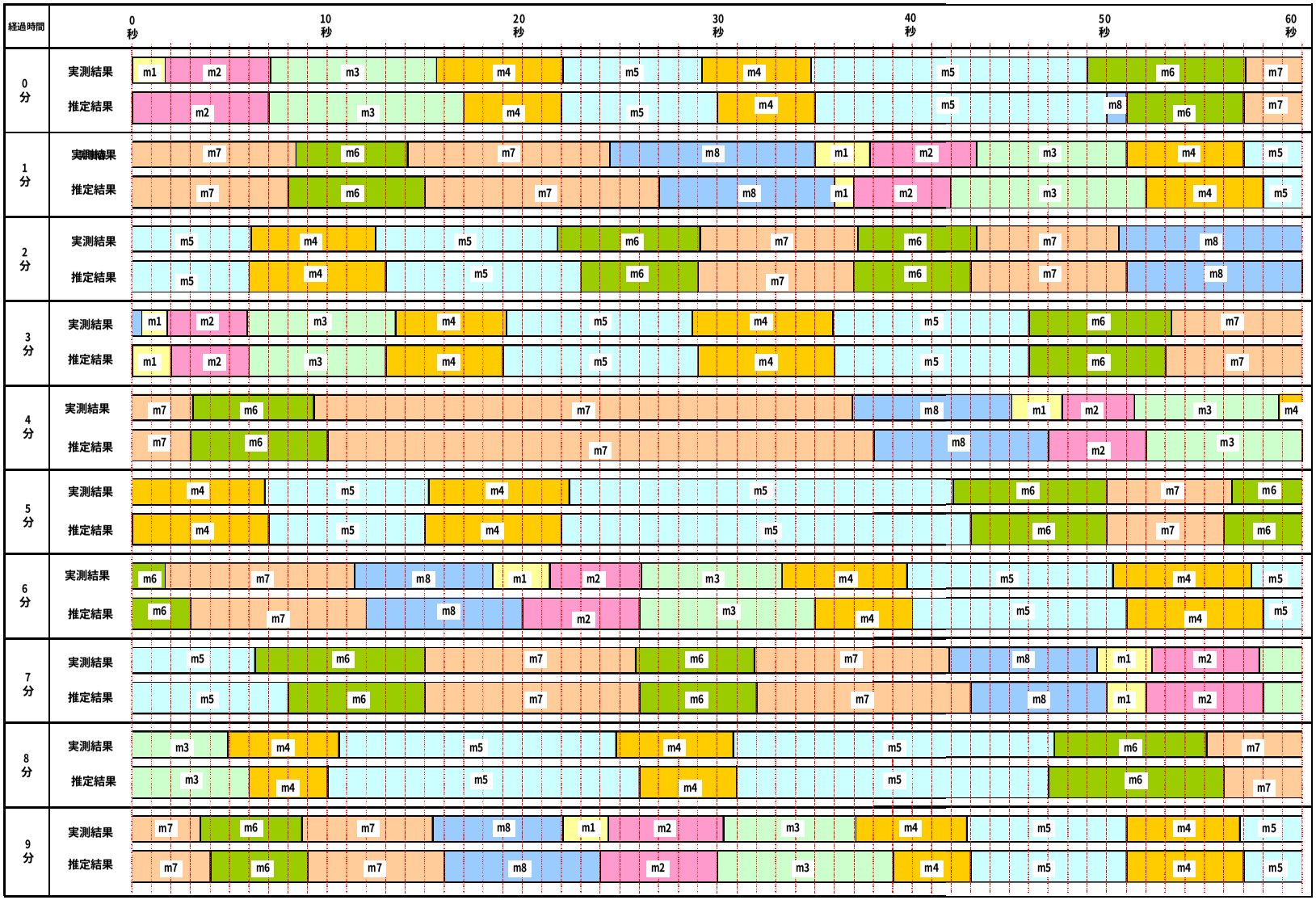



図.4.3.10　経過時間の時系列における実測結果と推定結果の比較（作業開始時間から 10 分まで）

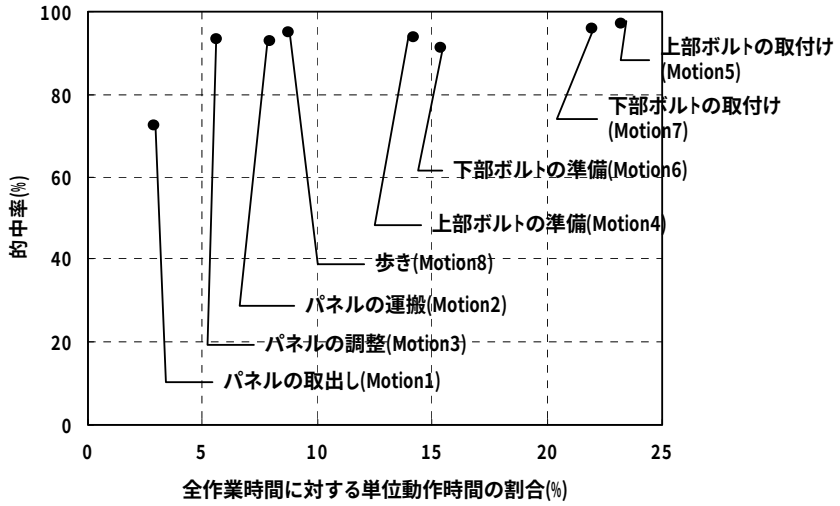



図.4.3.11　全作業時間に対する単位動作時間の割合と推定結果の的中率の関係

表 4.3.8 には実測した単位作業の作業時間に対する推定結果の作業時間の割合を示す。表に示す如く、単位動作の推定結果は以上で示した通り、誤差は前後に実施される単位動作間に割合が高い、このことから、推定の誤差は推定区間の時間幅に 2 つ以上の単位作業の特性値が含まれる場合に発生する確率が多いことが判った。

表.4.3.8　単位動作の実測値の作業時間と推定結果の作業時間の関係

| 単位動作の実測値 | | 単位動作の推定値 | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Motion1 パネルの取り出し | Motion2 パネルの運搬 | Motion3 パネルの調整 | Motion4 上部ボルトの準備 | Motion5 上部ボルトの取付け | Motion6 下部ボルトの準備 | Motion7 下部ボルトの取付け | Motion8 歩き | |
| Motion1 パネルの取り出し | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 72.20 | 10.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.76 | 100.00 |
| Motion2 パネルの運搬 | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 2.03 | 93.17 | 4.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.75 | 100.00 |
| Motion3 パネルの調整 | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 0.00 | 3.67 | 92.71 | 2.56 | 1.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| Motion4 上部ボルトの準備 | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 0.00 | 0.00 | 2.27 | 93.68 | 4.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| Motion5 上部ボルトの取付け | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.86 | 95.66 | 0.48 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| Motion6 下部ボルトの準備 | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.84 | 91.17 | 6.99 | 0.00 | 100.00 |
| Motion7 下部ボルトの取付け | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 2.51 | 96.98 | 0.45 | 100.00 |
| Motion8 歩き | 実測した作業時間に対する割合 (%) | 0.82 | 0.00 | 0.82 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.39 | 94.97 | 100.00 |

### ③検証データを用いた推定結果

学習デーに基づいて構築したニューラルネットワークを用いて、検証データについて単位動作の推定を行った。表.4.3.9 は検証データにおける単位動作の推定結果の的中率を示す。表に示す如く、検証データについての的中率は全単位動作については 87.31%であった。その結果、検証データについても高い的中率を達成出来たことを確認した。

図.4.3.12 は検証データの全作業時間に対する単位動作時間の割合とその的中率の関係

を示す。図に示す如く、全作業時間に占める割合が高い単位動作が高い的中率を得ている。また、時間割合が 5－10%以下である、「歩き」「パネルの調整」「パネルの運搬」についても、的中率は概ね 80%以上を得ている。このことから、本手法は、作業において時間の割合が少ない単位動作についてもほぼ正確に推定し得ることが判った。

表.4.3.9　検証データにおける推定結果の 0.1 秒毎の的中率

| 項目 | 単位動作 | | | | | | | | 全単位動作 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Motion1 パネルの取り出し | Motion2 パネルの運搬 | Motion3 パネルの調整 | Motion4 上部ボルトの準備 | Motion5 上部ボルトの取付け | Motion6 下部ボルトの準備 | Motion7 下部ボルトの取付け | Motion8 歩き | |
| 作業時間(秒) | 14.50 | 35.50 | 44.30 | 77.40 | 132.60 | 81.70 | 126.90 | 48.80 | 561.70 |
| 的中時間(秒) | 2.40 | 29.70 | 35.20 | 67.70 | 120.60 | 63.90 | 122.80 | 48.10 | 490.40 |
| 的中率(%) | 16.55 | 83.66 | 79.46 | 87.47 | 90.95 | 78.21 | 96.77 | 98.57 | 87.31 |

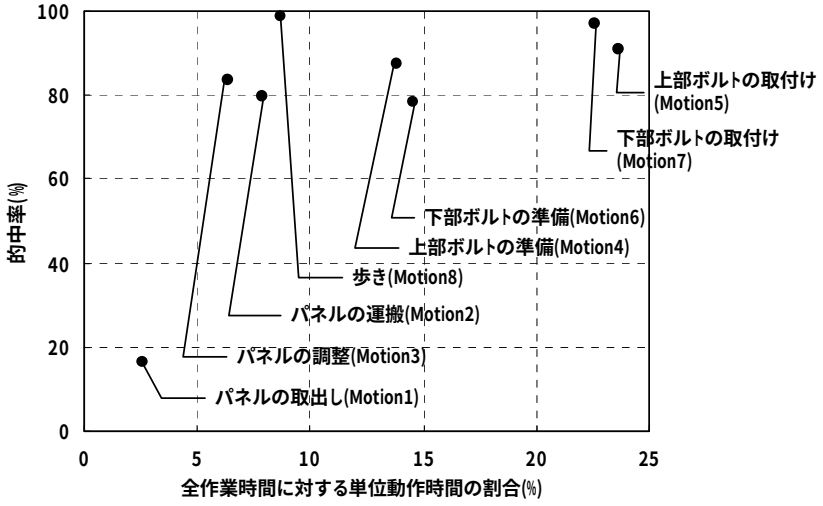



図.4.3.12　検証データの全作業時間に対する単位動作時間の割合と的中率の関係

### 4.3.4.結

建築作業における推定方法の適用を検討するために、実験室においてパネル取付け作業の作業実験（図.4.3.4 参照）を行い、0.1 秒間隔で作業者の姿勢の 6 自由度データを収集した（図.4.3.5 参照)。そのデータに基づいて単位動作の推定を行った。

パネル取付け作業を推定の対象である 8 つの単位動作に分割した。(図.4.3.4 参照)分割した各単位動作の実測した 0.1 秒単位の作業時間(表.4.3.3 参照)と収集した 6 自由度データを用いて 1 秒幅から 5 秒幅までの推定区間における特性値を算出した。

算出した特性値の類似度を調べるために、単位動作間のクラスタ分析を行った。その結果、特性値は概ね各単位動作の特性を示していることを確認した。(図.4.3.6 参照)

ニューラルネットワーク（表.4.3.4 参照）を用いて実施した単位動作の推定結果を以下の項目に示す。

① 推定区間のニューラルネットワークの学習結果の的中率：1 秒間隔－83.06%、2 秒間隔－91.51%、3 秒間隔ー－93.49%、4 秒間隔－94.17%、5 秒間隔－93.20%(表.4.3.5 参照)

② 測定間隔 0.1 秒におけるニューラルネットワークの学習結果の的中率：1 秒間隔－81.97%、2 秒間隔－87.48%、3 秒間隔ー－86.32%、4 秒間隔－83.58%、5 秒間隔－80.34%(表.4.3.6 参照)

③ 測定間隔 0.1 秒における学習データの推定結果の的中率：93.77%（表.4.3.7 参照）

④ 測定間隔 0.1 秒における検証データの推定結果の的中率：87.31%（表.4.3.9 参照）

以上の結果、全作業時間に占める割合が高い単位動作は 90%以上の的中率を得ているし、その割合が 5～10%以下である「歩き」「パネルの調整」「パネルの運搬」についてもほぼ 80%以上の的中率を得ていることから、時間割が少ない単位動作についてもほぼ正確に推定することが可能であることが判った。(図.4.3.12 参照)なお、推定の誤差は作業者の姿勢が短い時間に垂直の方向に伸び・縮みする「座る」「立つ」の動作が含まれる単位動作に対して多く生じることを明らかにした。さらに、誤差の発生要因は、単位動作の実測は 0.1 秒幅であるのに対して推定区間の設定は 1 秒幅を最小単位として 1 秒づつずらして行ったために生じる誤差及び、推定区間の幅が長くなるにつれて 1 つの推定区間に含まれる単位動作の特性値が複数になるために生じる誤差であることを明確にした。

以上の検討の結果、提案した推定方法は作業内容の推定において有効であることを確認した。

## 4.4.結言

A.作業者の姿勢の特性値

作業内容を推定方法として、作業者の姿勢データを自動収集し、如何なる作業内容を実施しているかを推定することを提案した。その具体的な内容として、姿勢を測定してデータ化するための 6 自由度センサーを選択し、その特性を説明し（図.4.1.1 参照)、測定方法（図.4.1.2 参照）について提案した。作業者に取付けた「頭のセンサー」「腕のセンサー」「脚のセンサー」の時系列におけるデータの出力事例を示して、センサーの出力データの特性を明らかにした。（図.4.1.3～図.4.1.5 参照）

センサーから得られる 3 軸の角度データと 3 軸の加速度データを作業内容の推定に用いるために必要な 12 個の特性値を提案した。各特性値の 6 自由度データからの算出過程(図。4.1.6 参照）及び、その算出式を示した。（表.4.1.2 参照）

提案した姿勢データの特性値の適用を検討するために、基本的な作業における 6 自由度データの測定の実験を行い（表.4.1.5 参照)、測定した「移動」のデータ（図.4.1.9 参照)、「運搬」のデータ（図.4.1.10 参照)、「加工」のデータ（図.4.1.11 参照)、「取付け」のデータ（図.4.1.12 参照）の時系列の波形を示した。「加工」のデータに基づいて特性値の算出の過程を示し(図.4.13 参照)、算出した 12 個の特性値の時系列における波形を示した。（図.4.1.17、図.4.1.18 参照）その結果、作業者の頭・腕・脚に装着した 3 つのセンサーのデータから算出した特性値は作業者の姿勢を表していることを確認した。また、測定したデータの時系列における特性値の波形は単位動作ごとに変化していることを確認した。

以上の検討結果、提案した作業者の姿勢の測定方法とデータの特性値は作業内容の推定において有効であることを確認した。

B.作業者の姿勢の特性値に基づいた作業内容の推定方法

収集した作業者の姿勢の 6 自由度データから算出した 12 個の特性値を用いた単位動作の推定方法の提案を行った。まず、実行する単位作業の時間幅のばらつきによる推定誤差を無くすための、多段階による推定区間の設定方法を提案した。（図.4.2.1 参照）

ニューラルネットワークを用いて、特性値に基づいた推定区間における単位動作の認識値の算出方法を提案した。(図.4.2.2 参照)推定区間毎に各時点において求められた認識値の平均を求め、この平均が最大の単位動作を推定結果とすることによる、推定の精度を向上させる方法を提案した。(図.4.2.3 参照）

提案した推定方法の適用を検討するために、基本的な作業（図.4.2.5 参照）における実験を行い、収集したデータに基づいて推定を実施した結果、学習データの的中率は 93.59%

であり（表.4.2.4 参照)、検証データの的中率は 76.34%であった。（表.4.2.6 参照）この結果、推定方法による単位動作の的中率は推定区間の幅に関係していることを明らかにし、複数の推定区間を用いた総合的評価による推定方法が有効であることを確認した。

以上の検討の結果、提案した推定方法は単位動作の推定において有効であることを確認した。

C.パネル取付け作業における適用

建築作業における推定方法の適用を検討するために、パネル取付け作業の作業実験（図.4.3.4 参照）を行い、作業者の姿勢の 6 自由度データを収集した（図.4.3.5 参照)。そのデータに基づいて単位動作の推定を行った。

パネル取付け作業を推定の対象である単位動作に分割した。（図.4.3.4 参照）分割した各単位動作の作業時間の実測値（表.4.3.3 参照）と収集した 6 自由度データを用いて 1 秒幅から 5 秒幅までの推定区間における特性値を算出した。

ニューラルネットワーク（表.4.3.4 参照）で単位動作の学習を行った結果、的中率がほぼ 80%以上を達し得ることが出来た（表.4.3.5、表.4.3.6 参照)。そこで、推定方法における誤差の発生要因と単位動作の関係を明らかにした。（図.4.3.8、図.4.3.9 参照）

ニューラルネットワークの認識値の平均による推定結果の学習データの的中率は 93.77%であり（表.4.3.7 参照)、検証データの的中率は 87.31%であった（表.4.3.9 参照)。この結果、本推定方法で単位動作をほぼ正確に推定することが可能であることを明らかにした。なお、推定の誤差は作業者の姿勢が短い時間で垂直の方向に伸び・縮みする「座る」「立つ」の動作が含まれる単位動作に多く生じることを明らかにした。

以上の検討の結果、提案した推定方法は作業内容の推定において有効であることを確認した。

# 第 5 章　結論

# 第5章　結論

## A.作業方法の選定方法に関する研究について（第 2 章）

①作業プロセスの作成を用いた作業のモデル化（2 章 1 節）

作業の要素を「作業者」「部材」「部位」「情報」と定義し、作業間の順序関係を「作業条件」「作業方法」「作業結果」を用いて定義した。（図.2.1.2 参照）さらに、作業条件の検討による達成させる先行の作業の設定､作業方法の選択における評価項目と代替案の設定、作業結果の検討による後続の作業条件に必要とする後行の作業の設定による作業のモデルの具現化方法を提案した。（図.2.1.3 参照）

なお、鋼製壁下地取付け作業における実態調査結果に基づいて、単位作業の分類項目である「取付け」「加工」「運搬」「計測」「移動」「取外し」の作業のモデルを作成し（図.2.1.10～図.2.1.15 参照）、提案した方法が作業間の順序関係を明確にし、作業方法の選定に必要な評価項目の表現が有効であることを確認した。

②機能抽出と機能展開を用いた作業方法の発想（2 章 2 節）

作業を機能として捉え、網羅的に機能を抽出するための方法として「作業結果に基づく機能抽出」と「付随的作業結果の問題点に基づく機能抽出」を提案し、その手順と表現方法を示した。（図.2.2.1～図.2.2.4 参照）さらに、抽出した機能から新たな作業方法を発想するための上位機能への展開方法として「作業に対する上位機能の追求」「表現文に対する上位機能の追及」「部材に対する形状の抽象化」「部材に対する材質の抽象化」「構文に対する類似構文の検索」の 5 つを提案し、その内容を示した。

なお、鋼製壁下地取付け作業における実態調査結果に基づいて、「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」に対する機能抽出を行った。（図.2.2.8、図.2.2.9 参照）また、5 つの機能展開の方法を用いて「ランナ材をスラブに取付ける」対する機能展開と作業方法の発想を行い、提案した方法が体系的な発想に有効であることを確認した。（図.2.2.10～図.2.2.14 参照）

③一対比較を用いた作業方法の選択（2 章 3 節）

作業方法の代替案を選択する方法として一対比較による AHP 手法を採り上げ、評価項目間の階層構造の作成（図.2.3.2 参照）と比較に用いる評価項目の内容（図.2.3.3 参照）を提案した。

なお、鋼製壁下地取付け作業における「ランナ取付け」「スタッド取付け」「振れ止め取

付け」の作業方法の代替案に対する評価及び、選択を行い、実測した作業方法に対する選択した結果の比較を行った。（表.2.3.19、表.2.3.21、表.2.3.23 参照）その結果、計画者が作業の実施において重要視する差異によって選択する作業方法の結果が異なり、提案した方法が作業方法の選択に有効であることを確認した。

**B.作業時間の推定方法に関する研究について（第 3 章）**

①作業の実績に基づいた作業時間の推定（3 章 1 節）

作業時間の推定に使用している特性値（表.3.1.1 参照）の問題点を述べた。それに基づいて、作業時間の推定における特性値は、取付けの部位ごとに単位作業のレベルで作業の実績を測定する必要があることを示し、その算出方法と手順を提案した。（図.3.1.1 参照）

なお、鋼製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて、作業時間と施工量の測定を行った。作業時間を要素作業レベルで測定し、単位作業とまとまり作業で合計した結果を示した。取付けの部位ごとに測定した作業時間の統計値（表.3.1.2～表.3.1.7 参照）とまとまり作業に占める単位作業の作業時間の割合（図.3.1.5～図.3.1.12 参照）を示した。施工量を取付けの部位の形状別に測定し、部位毎に合計した結果を示した。（表.3.1.8 参照）各取付けの部位における測定した作業時間と施工量を用いて特性値の算出し、その結果を示した。（表.3.1.9 参照）その分析結果、取付けの部材の長さ・面積等の積算した施工量を用いて作業時間を推定し得ることを確認した。

②作業者の動作に基づいた作業時間の推定（3 章 2 節）

作業者の動作を作業時間の推定に用いる場合、単位動作レベルの作業分割が必要であることを示した。MOST 手法におけるシーケンス・モデルを用いて単位動作の時間設定を行い（図.3.2.2 参照）、要素作業レベルの作業時間を推定する手順を示した（図.3.2.1 参照）。

なお、木製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて、1 本の部材の取付け作業における要素作業レベルの作業時間の推定式を作成した。（表.3.2.4）作成した推定式と実測した要素作業の発生の回数（表.3.2.5、表.3.2.6）を用いて作業時間の推定値を算出した。算出した作業時間の推定値と実測値の相関係数は 0.82 であった。（図.3.2.14 参照）その結果、作業者の動作に基づいた作業時間の推定は有効であることを確認した。更に、取付けの部位別の相関関係を調べた結果、相関係数が 0.79～0.91 であり（図.3.2.15～図.3.2.18）、相関係数が低くなる作業も存在することが判った。即ち、部材の取付けに高い精度が要求されるほど、寸法の計測と取付け位置の調整における「戸惑い」「考える」の発生率が高くなるため、相関係数が低くなることを明らかにした。

③作業の条件に基づいた作業時間の推定（3 章 3 節）

作業の条件を作業時間の推定に用いる場合、「数量的条件」と「質的条件」に分類することを示した。「数量的条件」の内容を定義し、重回帰分析を用いた作業時間の推定手順を示した。（図.3.1.1 参照）また、「質的な条件」の内容を定義し、数量化Ⅰ類手法を用いた作業時間の推定手順を示した。(図.3.3.2 参照)

なお、壁石膏ボード取付け作業の実態調査に基づいて、取付け作業における単位作業レベルの時間値と数量的条件を測定した。（表.3.3.1、表.3.3.2 参照）測定した実測値を用いて単位作業の分類項目における「移動」「運搬」「計測」「加工」「取付け」の作業時間の推定式を作成し（表.3.3.3～表.3.3.8 参照)、推定式の信頼度を示した。（表.3.3.3～3.3.9）推定式を用いて算出した作業時間の実測値と推定値の相関係数は 0.82～0.99 であった。（図.3.3.10～図.3.3.15 参照）その結果、「数量的条件」に基づいた作業時間の推定は有効であることを確認した。また、「加工」と「計測」は取付けるボードの形による影響が大きいことを明らかにした。

なお、鋼製壁下地取付け作業の実態調査に基づいて、「スタッド材を手に持って運ぶ」「ランナ材を鋲打ち銃を用いてコンクリートスラブに打ち付ける」における要素作業レベルの時間値と質的条件及び、数量的条件を測定した。（表.3.3.9～表.3.3.11 参照）測定した実測値を用いて要素作業の作業時間の推定式を作成し（表.3.3.13～表.3.3.25 参照)、推定式のとカテゴリースコアを示した。推定式を用いて算出した作業時間の実測値と推定値の相関係数は 0.82～0.98 であった。（図.3.3.21～図.3.3.30 参照）その結果、質的条件に基づいた作業時間の推定は有効であることを確認した。

**C.作業内容の推定方法に関する研究について（第 4 章）**

①作業者の姿勢の特性値（4 章 1 節）

作業者の姿勢を測定してデータ化するための機器として 6 自由度センサーを選択し、その特性を説明し（図.4.1.1 参照)、装着方法（図.4.1.2 参照）について提案した。さらに、センサーから得る「3 軸の角度データ」と「3 軸の角度データ」の特性と姿勢の動きの相関関係を分析し、推定を行う時間幅である推定区間について、2 箇所の身体部位間の「位置関係」「位置関係の変動」「位置関係の動きの速さ」及び、「身体部位の動きの速さ」を表す 12 個の特性値を提案した。（表.4.1.2 参照）

なお、基本的な姿勢における 6 自由度データの測定の実験を行い（表.4.1.5 参照)、測定したデータが正確に姿勢の変化を表していることを確認した（図.4.1.9～図.4.1.12 参照)。測定したデータに基づいて特性値の算出の過程を示し（図.4.13 参照)、「加工」の作業を

事例として時系列における算出した 12 個の特性値の変動を示した。（図.4.1.17、図.4.1.18 参照）その結果、センサーデータは頭・腕・脚の動きを正確に表し得ることを確認した。

②作業者の姿勢の特性値に基づいた作業内容の推定方法（4 章 2 節）

作業者の姿勢の 6 自由度データから算出した 12 個の特性値を用いた作業内容の推定方法として、特性値を安定させるために多段階による推定区間の設定方法を提案した。（図.4.2.1 参照）また、ニューラルネットワークを用いて特性値から単位動作の認識値を算出し、各時点において認識値の平均を求め、この値が最大の単位動作を推定結果とする方法を提案した。（図.4.2.3 参照）

なお、基本的な作業動作（図.4.2.5 参照）における作業実験を行い、収集したデータに基づいて推定を行った結果、学習データによる推定の的中率は 93.59%であり（表.4.2.4 参照）、検証データの的中率は 76.34%であった。（表.4.2.6 参照）その結果、単位動作の的中率は推定区間の長さに関係していることを明らかにし、複数の推定区間の認識値を総合的に評価する方法は有効であることを確認した。

③パネル取付け作業における適用（4 章 3 節）

パネル取付け作業の作業実験（図.4.3.4 参照）を行い、作業者の姿勢の 6 自由度データを収集した（図.4.3.5 参照）。そのデータに基づいて、提案した推定方法を用いた単位動作の推定を行った。

ニューラルネットワーク（表.4.3.4 参照）で単位動作の推定を行った結果、検証データで的中率がほぼ 80%以上を達し得ることが出来た（表.4.3.5 参照）。認識値の総合的な評価方法を用いた学習データの的中率は 93.77%であり（表.4.3.7 参照）、検証データの的中率は 87.31%であった（表.4.3.9 参照）。この結果、本方法で作業をほぼ正確に推定することが可能であることを明らかにした。

# 本研究に関する筆者の研究

# 研究業績

| 種 類 別 | 題名 | 発表・発行掲載誌名 | 発表・発行年月日 | 連名者 |
|---|---|---|---|---|
| 論文○ | 建築工事における作業内容の推定方法に関する研究−6 自由度データに基づく構成動作の推定方法− | 日本建築学会計画系論文集 | 2003 年 2 月 | 蔡、嘉納 |
| 論文○ | 建築工事における作業推定システムに関する研究 | 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集 | 2002 年 7 月 | 蔡、嘉納 |
| 論文○ | 建築工事における生産性に関する研究－作業方法の選択プロセスの開発－ | 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集 | 2001 年 7 月 | 蔡、嘉納 |
| 講演○ | 建築工事における生産性に関する研究－6 自由度データを用いた作業内容の推定方法の提案と検証－ | 日本建築学会学術講演梗概集 | 2002 年 8 月 | 蔡、嘉納 |
| 講演○ | 建築工事における生産性に関する研究－生産プロセスの具現化－ | 日本建築学会学術講演梗概集 | 2001 年 9 月 | 蔡、嘉納 |
| 講演 | 内装仕上げ工事の壁ボード張り工事に関する研究－壁ボード取り付けの作業時間に関する研究－ | 日本建築学会関東支部研究報告集 | 2001 年 3 月 | 末弘、蔡、嘉納 |
| 講演○ | 建築工事における生産性に関する研究－鋼製壁下地工事の運搬作業の数量化による時間推定－ | 日本建築学会学術講演梗概集 | 2000 年 9 月 | 蔡、嘉納 |
| 講演○ | 建築工事における生産性に関する研究－MOST 手法の有効性に関する研究－ | 日本建築学会学術講演梗概集 | 1999 年 8 月 | 蔡、嘉納 |
| 講演○ | 建築工事における生産性分析に関する研究－BASIC MOST 手法を用いた木造間仕切り壁の軸組工事の調査分析－ | 日本建築学会関東支部研究報告集 | 1999 年 3 月 | 蔡、嘉納 |
| 講演○ | 工事現場におけるシステムシミュレーションに関する研究－逆打ち工法における掘削工事のシミュレーション－ | 日本建築学会関東支部研究報告集 | 1998 年 3 月 | 蔡、嘉納 |

# 謝　辞

本論文は、筆者が早稲田大学建築学科嘉納研究室において、修士課程から行って来た建築工事における作業内容の推定方法に関する研究を取り纏めたものである。本研究の完成に当っては、下記の方々の厚意あるご指導と多大な御協力を頂いたことを記し、ここに改めて深甚なる感謝の意を表したい。

恩師である早稲田大学嘉納成男教授には、修士課程以来、日本語の使い方を初め、研究に対する姿勢までの全般にわたり終始懇切なる御指導と御鞭撻を賜った。更に、本論文を纏めることの御勧めと、論文全般に亙る数多くの貴重な御示唆を頂いた。

同大学の小松幸夫教授、輿石直幸助教授には、論文審査の労を煩わし、数々の貴重な御助言を頂いた。

北九州市立大学の三根直人教授には、数々の貴重な御助言を頂いた。

本研究の調査・方法の適用を進める上で、嘉納研究室における諸先輩方、同期、及び後輩の皆さんには、日本での生活を含め、多くの御助言と御協力を頂いた。

最後に、私が論文を纏めている長い間、心の支えになってくれた母国の両親と兄弟、傍らから見守っていてくれた妻孫貞民、1月に生まれた息子旭に心から感謝する。

2003年3月　　筆者